

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## **Návrh jednoúčelového lepicího stroje**

## **Design of Single-purpose Sticking Machine**

Student:

Bc. Lubor Pavelec

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2020

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lubor Pavelec**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2302T043 Hydraulika a pneumatika**  
Téma: **Návrh jednoúčelového lepicího stroje**  
**Design of Single-purpose Sticking Machine**

Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte lepicí stroj pro lepení částí kancelářských židlí. Zařízení má po dobu 30 sekund stlačovat lepené části silou 1000 N, zdvih 250 - 300 mm. V rámci práce zpracujte následující body:

- 1) Popis řešeného problému, pracovního cyklu a požadavků na bezpečnost.
- 2) Návrh konstrukce zařízení.
- 3) Návrh pneumatického řízení a alternativního elektro-pneumatického řízení.
- 4) Volba pneumatických prvků pro zvolenou variantu řešení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o., 2019, 4. vydání. 373 s.

BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.

MURRENHOFF, H., REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.

CAMOZZI COMPETENCE CENTRE. *Pneumatic Automation From Basic Principles to Practical Techniques*. Brescia: Camozzi Automation S.p.A., 2019, 215 p. Dostupné z:

[https://www.camozzi.com/sites/default/files/dl\\_files/MN-Tec%20Did\\_ENG\\_2019\\_LowRes.pdf](https://www.camozzi.com/sites/default/files/dl_files/MN-Tec%20Did_ENG_2019_LowRes.pdf)


Katalogy a podklady výrobců pneumatických prvků.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

  
doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020



.....  
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020

.....  
Podpis autora práce

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PAVELEC, L. *Návrh jednoúčelového lepicího stroje: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2020, 64 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Diplomová práce se zabývá návrhem jednoúčelového lepicího stroje. Cílem práce je vytvořit zařízení, jehož úkolem je docílit slepení dvou částí sedáku židle za požadovaných podmínek. V úvodu práce je stručně popsána problematika výroby židlí, ale také jednotlivých sedáků. Dále následuje popis pracovního cyklu včetně požadavků na funkčnost a činnost stroje. S tím souvisí i požadavky týkající se bezpečnosti strojních zařízení, kterými je třeba se v rámci návrhu řídit. V další části práce se nachází již samotný návrh zařízení. Konstrukční návrh je doplněn dvěma variantami řízení lepicího stroje. Nejprve je navrženo pneumatické řízení, následně pak řízení elektro-pneumatické. Pro následnou specifikaci jednotlivých prvků je upřednostňován pneumatický návrh, jehož prvky jsou i obsaženy v samotném návrhu konstrukce.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

PAVELEC, L. *Design of Single-purpose Sticking Machine: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2020, 64 p. Thesis head: Dvořák, L.

The Master thesis deals with the design of a single-purpose sticking machine. The work focuses on the creation of a device for bonding of two chair seat parts under the required conditions. The introduction part briefly describes not only the chair, but also an individual seat production. Next part describes the work cycle, including requirements for the functionality and operation of machines, including the requirements related to the machinery safety, which must be observed during their design. The next part of the Master thesis includes the device design itself. The construction design is supplemented by two proposals of the sticking machine control. One is pneumatic and the other is electro-pneumatic control. The pneumatic design is preferred for the subsequent specification of individual elements, which are also included in the design of the construction itself.

# Obsah

<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>8</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Sedák, produkt lepicího stroje.....</b>	<b>10</b>
1.1 Historie.....	10
1.2 Vývoj židlí.....	10
1.3 Současná výroba židlí .....	11
1.3.1 Výroba sedáku židle.....	11
<b>2 Návrh konceptu zařízení.....</b>	<b>15</b>
2.1 Popis pracovního cyklu.....	15
2.2 Detailní rozbor problematiky .....	16
2.3 Zajištění bezpečnosti provozu.....	16
2.3.1 Směrnice upravující bezpečnost průmyslových strojních zařízení.....	16
2.3.2 Normy upravující bezpečnost průmyslových strojních zařízení obecně .....	19
2.3.3 Normy upravující pneumatické systémy .....	19
2.4 Aplikace bezpečnostních prvků na dané zadání.....	20
2.4.1 Nouzové zastavení stroje .....	21
2.4.2 Dvouruční ovládání.....	23
2.4.3 Ochranné kryty a bariéry .....	24
<b>3 Návrh konstrukce zařízení.....</b>	<b>28</b>
3.1 Pracovní stůl.....	29
3.2 Uchycení pneumatického motoru .....	36
3.3 Ochranný kryt.....	39
3.4 Sestavená konstrukce lepicího stroje .....	42
<b>4 Návrh pneumatického řízení lepicího stroje .....</b>	<b>44</b>
4.1 Návrh pneumatického přímočarého pneumotoru.....	44
4.2 Volba prvků ovlivňujících propustnost obvodu.....	46
4.2.1 Výpočet průtokové propustnosti obvodu.....	47
4.3 Návrh pneumatického obvodu .....	49
4.3.1 Varianta č. 1 .....	52
4.3.2 Varianta č. 2 .....	53
<b>5 Návrh elektro-pneumatického řízení lepicího stroje.....</b>	<b>54</b>
5.1 PLC Siemens LOGO! .....	55
5.2 Návrh elektro-pneumatického obvodu.....	57

<b>Závěr .....</b>	<b>58</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>60</b>
<b>Internetové zdroje.....</b>	<b>60</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>63</b>
<b>Poděkování .....</b>	<b>64</b>

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název veličiny	Jednotka
$D$	průměr pístu válce	[mm]
$H$	zdvih válce	[mm]
$S$	plocha pístu válce	[mm <sup>2</sup> ]
$F$	požadovaná přitlačná síla	[N]
$p_l$	pracovní tlak	[MPa]
$k$	koefficient bezpečnosti	[1]
$R_e$	mez kluzu v tahu	[MPa]
$R_m$	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$k'$	koefficient odporu proti pohybu	[1]
$\sigma_{dov}$	dovolené napětí	[MPa]
$m_{\check{c}}$	hmotnost části konstrukce – obecně	[kg]
$F_g$	gravitační síla	[N]
$g$	gravitační zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
$Q_{Nn}$	normální jmenovitý průtok	[dm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> (ANR)]
$Q_{MN}$	potřebný průtok stlačeného vzduchu za norm. podmínek	[dm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> (ANR)]
$Q_{NEKV}$	ekvivalentní průtok za normálních podmínek	[dm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> (ANR)]
$p_{abs}$	absolutní tlak	[MPa]
$p_N$	jmenovitý tlak	[MPa]
$v$	rychlost vysouvání pístnice	[m·s <sup>-1</sup> ]
$t$	čas potřebný k vysunutí pístnice	[s]



# Úvod

Běžně člověk stráví sezením na židli více než třetinu dne, ať už doma, ve škole či v práci. Proto je nesmírně důležité dbát na její správný výběr. V dnešní době existuje celá řada nejrůznějších typů židlí, od klasických jídelních přes moderní kancelářské až po speciální, vyráběné často na zakázku. Z nabídek můžeme vybírat, zda máme zájem o dřevěnou, plastovou nebo kovovou židli s textilním či koženým sedadlem. Jednu věc však téměř všechny typy židlí mají společnou. Sedáky židlí jsou složeny z několika částí, několika vrstev nejrůznějších materiálů, které mohou být spojeny například pomocí lepidla. S touto problematikou souvisí i náplň mé diplomové práce.

Cílem mé diplomové práce je navrhnout jednoúčelový lepicí stroj, jehož úkolem je slepit dvě různé vrstvy židlového sedáku k sobě. Lepicí stroj musí být navržen v souladu se zadanými požadavky, musí být bezpečný, funkční a snadno ovladatelný. V rámci konstrukce zařízení je třeba také dbát na vhodný výběr materiálů. Zařízení musí být dostatečně odolné vůči danému zatížení, avšak v rozumné míře, aby nedošlo ke zbytečně velkému předimenzování. To souvisí i s celkovou hmotností navrhovaného zařízení. V rámci úspor lze ocelové profily ve velké míře nahradit hliníkovými a ocel tak použít jen v nezbytných případech, jako je například nosný rám pneumotoru či pracovní deska stolu. V neposlední řadě jde také o cenu. Ověřit pevnost nosné konstrukce lze pomocí statické analýzy, která určí hodnoty maximální deformace a vzniklého napětí při působení zatěžujících sil od lepicího zařízení a odhalí tak potenciálně riziková místa.

Nejen konstrukce, ale i provoz navrhovaného zařízení musí být bezpečný. Kromě zadaných požadavků je tak při návrhu řízení rovněž třeba myslet na bezpečnost spojenou s činností lepicího stroje. Na základě zadání budou vypracovány dvě varianty řízení, konkrétně pneumatické a elektro-pneumatické. Každá varianta řízení má své výhody a nevýhody. Za primární ovšem považuji pneumatické řízení, v rámci kterého provedu i specifikaci jednotlivých vybraných prvků.

Výběr optimálního způsobu řízení v praxi závisí na každé konkrétní aplikaci. Klíčovým parametrem může být otázka ceny jednotlivých prvků, spolehlivosti, zástavné plochy či ekonomiky provozu obecně.

Výsledkem mé práce tak bude funkční návrh lepicího stroje, díky kterému vznikne slepený sedák určený k následné montáži v rámci výroby dané židle.

# 1 Sedák, produkt lepicího stroje

Židlový sedák je součástí každé židle. Může být tvořen nespočtem různých vrstev a vzájemnou kombinací nejrůznějších materiálů v závislosti na typu židle. V následující části práce je krátce nastíněn všeobecný přehled týkající se této problematiky, včetně jeho výroby využívající pneumatického lisu.

## 1.1 Historie

Již od pravěku se lidé zabývali myšlenkou, jak si sezení zpříjemnit. V této době lidé obvykle sedávali na zemi okolo ohniště. Avšak postupem času zjistili, že mnohem pohodlnější je sedět na něčem měkkém. Dalším krokem byla eliminace chladu od studené země. Nejen materiál, na který si sedli, ale i výška posedu výrazným způsobem ovlivnila komfort sezení. Zjistili rovněž, že pokud si sednou výše, přestanou je bolet záda či nohy. To vedlo k stálému bádání, jak si sezení vylepšit a zpříjemnit.

## 1.2 Vývoj židlí

Z dnešního pohledu by se dalo říci, že klasická židle zažila největší rozmach až v průběhu 16. století s rozvojem nových, sedavých povolání. Postupem inovací vznikla kolečková židle za účelem rychlého přesunutí. Netrvalo dlouho a židle byla doplněna možností se otáčet okolo vlastní osy. Zde hovoříme o druhé polovině 19. století. Teprve v polovině 20. století se stala židle zajímavou pro inženýry a designéry, a tak se objevuje pojem „ergonomie“, tedy snaha o dosažení optimálních tvarů židle za účelem pohodlí a správného držení těla, **obr. 1 [8]**.



**Obr. 1** – Klasická židle v porovnání s moderní, ergonomickou židlí [8]

V minulosti byly židle vyráběny převážně ze dřeva, klasickou ruční výrobou. Často byly doplněny jednoduchým polstrováním za účelem zvýšení pohodlí. Šikovní řezbáři, truhláři a čalouníci však nedokázali stíhat tempu poptávky, a tak se začala vyvíjet myšlenka sériové výroby. Hovoříme o tzv. manufakturách, tedy dílnách, kde byla práce rozdělena dle jednotlivých úkonů. Každý dělník měl na starost jen jistou část výroby, nikoli celý produkt. Velkým milníkem se stala průmyslová revoluce, kdy hovoříme o přechodu z klasické manufaktury na tovární, chceme-li strojní výrobu. Postupem času byly vyvíjeny nové technologické postupy výroby. Za jeden z největších pokroků poslední doby můžeme označit proces automatizace, který postupně napříč všemi odvětvími nahrazuje klasickou ručně řízenou výrobu. Automatizované výrobní linky pracují s vysokou precizností, spolehlivostí a rychlostí. Díky nim je dosahováno vysoké produkce a velkých obrátů. Jejich velkou předností je fakt, že snižují nutnost přítomnosti člověka při opakujících se činnostech. Na druhou stranu jsou však díky automatizaci některé profese již minulostí.

### **1.3 Současná výroba židlí**

Výroba židlí má ve světě již mnohaletou tradici. Existuje celá řada nejrůznějších firem, které se zabývají jejich výrobou. Mezi jednu z celosvětově produkujejících společností patří společnost IKEA a.s., která se zaměřuje na výrobu a prodej levného nábytku. Jedná se o švédskou společnost, která k roku 2018 disponovala 367 pobočkami po Evropě, Asii, Americe a Austrálii. Společnost razí myšlenku nabídky širokého sortimentu funkčních produktů. Jejich cílem je oslovit co možná nejširší spektrum zákazníků zejména nízkou cenou [9].

V rámci tuzemské produkce můžeme zmínit například společnost TON a.s., která se jeví jako přímý opak toho, co vyrábí společnost IKEA a.s. Společnost se zabývá technologií ručně ohýbaného nábytku. Tuto technologii využívá již od roku 1861, kdy byla v Bystřici pod Hostýnem založena [10]. Společnost razí zcela opačnou myšlenku, a tou je kvalitní a poctivá výroba z masivního dřeva. Nevýhodou však je cena takto vyrobeného nábytku, proto i klientela firmy je podstatně nižší, než v případě IKEA a.s.

#### **1.3.1 Výroba sedáku židle**

Existuje celá řada materiálů, ze kterých se sedáky novodobých židlí vyrábí. Od ocelových židlí, které jsou typické například pro zahradní nábytek, po dřevěné či plastové. Převážnou většinu židlí však tvoří židle kombinované z různých druhů materiálů. Sedáky

a opěradla často tvoří polstrování z měkkého materiálu za účelem zvýšení pohodlí při sezení. Tohle polstrování může být tvořené například molitanem, neboli polyuretanovou pěnou, často také označovanou pod zkratkou PUR. Aby byla takováto židle kompletní, je třeba ji očalounit.

Ve výrobě sedáků židlí, chceme-li sedadel, existuje celá škála možností, jak uplatnit použití pneumatických lisů a lisů obecně. Například již zmíněná společnost TON a.s., využívá vysokofrekvenční a parní lisy na lisování sedáků, které jsou tvořeny z jednotlivých dýh. Pro výrobu využívají bukové dřevo, které se loupe na tloušťku 1,23 milimetru. Po důkladném vysušení a roztřídění do skupin dle kvality, putují dýhy do lisovny, kde se promění ve výsledný produkt.

Dýha typu A je využívána pro viditelné části židle, jelikož je její vzhled zcela bez kosmetických závad. Dýha typu B je pak využívána například pro spodní část sedáku, na kterou není zpravidla vidět při běžném užívání. Dýha typu C již obsahuje viditelné estetické vady, jako například drobné praskliny či suky, proto je vhodné ji umístit jako mezivrstvu sedáku, nebo jako vrstvu, která bude posléze očalouněna. Mezi jednotlivé dýhy je nanášeno lepidlo, které obsahuje lepicí a tužící složky v daném poměru dle využití. Takto namíchané lepidlo zajistí dokonalou pevnost spoje po vylisování. Pro lisování se využívají dřevěné a kovové formy. Vysokofrekvenční pneumatický lis, který se v dřevozpracujícím průmyslu vyskytuje poměrně často vzhledem k jeho výborným vlastnostem, funguje na principu mikrovlnné trouby. Dojde zde k rozkmitání molekul, čímž dochází k ohřívání a lepidlo začne kondenzovat. Kondenzací lepidla dochází k vytvrzení výlisku. Díky této technologii jsou jednotlivé dýhy slepené v řádu sekund. Lis je vybaven dvouručním ovládáním pro zajištění bezpečnosti práce a je snadno ovladatelný. Parní lisy mají své využití v případě výrobků o menších rozměrech, nicméně je nutné pro ně použít kovové formy.

V závislosti na typu židle se odvíjí tloušťka sedáku, tedy počet jednotlivých dýh, které jsou následně vkládány do lisu a po jistou dobu přitlačovány určitou silou. Počet dýh se s ohledem na konkrétní typ sedáku pohybuje od tří do dvaceti pěti kusů. Dále je třeba zvolit formu pro lisování vzhledem k tvaru sedáku, **obr. 2**. Společnost nabízí celkem 243 typů dřevěných a kovových forem, **obr. 3**, nicméně v případě zájmu je možné nechat vyrobit formu na zakázku dle přání zákazníka [11].



**Obr. 2** – Forma pro lisování sedáku [11]



tvar překližky 044

tvar překližky 047

tvar překližky 053

**Obr. 3** – Příklad nabízených tvarů překližek [11]

Po vylisování dojde ke zmenšení tloušťky jedné dýhy přibližně na 1 milimetr. Výsledný produkt je nutné ořezat na patřičný tvar. Posléze může sedák putovat dále k dalším operacím, jako je například povrchová úprava či čalounění [11].

Dalším příkladem užití pneumatického lisu ve výrobě sedáku je čalounický lis, který usnadňuje práci díky rovnoměrnému rozložení napětí po celé ploše potahovaného sedáku. Není tak nutné kontrolovat, zda je potah rovnoměrně upevněn na potahovaném sedáku, jelikož je neustále rovnoměrně přitlačován tlakem lisu.

Pneumatický lis, **obr. 4**, je vybaven obouručním ovládáním pro zajištění bezpečnosti a regulátorem stlačeného vzduchu pro nastavení přitlačné síly. Díky otočné funkci zajišťuje čalouníkovi pohodlnější přístup, což rovněž zvyšuje efektivitu práce.



**Obr. 4** – Pneumatický lis pro čalounění [12]

Každý typ židle, který se vyrobí, musí projít patřičnou kontrolou. Například společnost TON a.s. i zde využívá pneumatické lisy k testování požadované pevnosti a životnosti v souladu s normou ČSN EN 16139 Nábytek – Pevnost, trvanlivost a bezpečnost – Požadavky na nebytový sedací nábytek. Předpokladem pro úspěšné absolvování je nutnost obstát v nejvyšší dimenzované zkoušce namáhavosti, **obr. 5** [10].



**Obr. 5** – Zatěžovací zkouška židle [10]

## 2 Návrh konceptu zařízení

Cílem diplomové práce je návrh jednoúčelového lepicího stroje, jehož úkolem je slepit dvě části židlového sedáku, které jsou obsluhou manuálně vloženy na pracovní stůl stroje. První částí je plastový korpus, do kterého bude pomocí lepidla uchycena druhá část, textilní sedák, **obr. 6**.



**Obr. 6** – Ilustrační obrázek lepeného sedáku židle [13]

### 2.1 Popis pracovního cyklu

Navrhovaný lepicí stroj představuje zařízení, které pomocí pneumatického pohonu přitlačí dvě výše zmíněné části sedáku proti sobě. V tomto stavu je bude držet po dobu 30 sekund. Za tuto dobu dojde ke slepení obou částí.

Průběh pracovního cyklu je tedy následovný:

- 1) Operátor vloží obě části sedáku na pracovní stůl.
- 2) Aktivací stroje dojde k vysunutí pístnice do koncové polohy s požadovanou přitlačnou silou 1000 N.
- 3) Po uplynutí 30 sekund vydá operátor impuls k zasunutí pístnice do výchozí polohy.
- 4) Po zasunutí do výchozí polohy může operátor vytáhnout slepený produkt a celý proces se může zopakovat.

## **2.2 Detailní rozbor problematiky**

V rámci návrhu je nutné zajistit, aby vyjíždění pneumatického přitlačného válce bylo realizováno současným držením dvou tlačítek v dostatečné vzdálenosti od sebe. V okamžiku, kdy dojde k uvolnění jednoho z tlačítek v průběhu zdvihu, válec se automaticky vrátí zpět do své výchozí horní polohy. Tlačítka je možné uvolnit až v okamžiku, kdy dojde ke vzniku mechanického či tlakového impulsu. To se děje v případě, kdy válec dorazí do své dolní, tedy koncové polohy vysouvání a jednotlivé části sedáku jsou k sobě vzájemně přitlačeny požadovanou silou. V danou chvíli přitlačuje pneumatický válec plným tlakem. Jakmile je proces lepení hotov, operátor opět zmáčkne obě tlačítka, čímž je vydán impuls k zajištění pístnice do své výchozí pozice.

Kromě samotných požadavků vycházejících ze zadání, je nezbytnou součástí návrhu zajištění maximální bezpečnosti provozu v souladu s příslušnými směrnici a normami. Je tedy nutné navrhnout další doplňková bezpečnostní zařízení. Tímto mám na mysli aplikaci nejrozličnějších bezpečnostních systémů, například v podobě ochranných krytů či tlačítek pro nouzové zastavení stroje a resetování stroje do základní polohy.

## **2.3 Zajištění bezpečnosti provozu**

S ohledem na zajištění bezpečnosti strojních zařízení jsou v rámci Evropské unie a dalších tří zemí definovány určité směrnice, normy a právní předpisy, které jsou závazné pro všechny členské státy. Státy Evropské unie spolu s Islandem, Lichtenštejnskem a Norskem tvoří tzv. Evropskou hospodářskou oblast (EEA). Všechny členské státy mají povinnost mít uzákoněnou legislativu definující základní bezpečnostní požadavky pro strojní zařízení včetně jejich používání. Zařízení, která nesplňují tyto požadavky, nemohou být na území EEA používány [1].

### **2.3.1 Směrnice upravující bezpečnost průmyslových strojních zařízení**

Mezi dvě základní směrnice upravující bezpečnost průmyslových strojních zařízení a vybavení patří:

- a) směrnice pro strojní zařízení,
- b) směrnice pro používání pracovních zařízení pracovníky na pracovišti [1].



Výše zmíněné směrnice spolu souvisí, jelikož některé požadavky ohledně ochrany zdraví a bezpečnosti z první směrnice jsou potvrzeny a aplikovány i ve směrnici druhé. Směrnice pro strojní zařízení se zabývá především distribucí nových strojních zařízení včetně bezpečnostních prvků a systémů. Úkolem směrnice je zajistit, aby nově navržená a vyrobená zařízení byla zcela bezpečná, aby při používání či údržbě nedošlo k ohrožení zdraví osob manipulujících s daným zařízením. Je tak zapotřebí stanovit požadavky, které zahrnují konkrétní opatření k eliminaci rizik.

Nejdůležitějším a základním požadavkem je bezpečná konstrukce samotného stroje. Ten musí být vyroben z kvalitních materiálů zaručující stanovenou životnost zařízení. Dále nesmí stroj obsahovat nebezpečné části v podobě ostrých hran či neopracovaných povrchů, o které by se mohla obsluha stroje poranit. V případě, kdy samotná konstrukce stroje nedokáže eliminovat všechna rizika spojená s jeho používáním, je třeba zařízení doplnit pomocí tzv. „*doplňkové ochrany zařízení*“ [1]. To představuje použití nejrozličnějších ochranných krytů, jako jsou například kryty pohybujících se součástí či kryty spínačů zabraňující nechtěným sepnutím. Pro zamezení průniku do rizikových oblastí se často používají pevné uzavírací kryty celých zařízení, případně oplocení okolo nich. Dále bych zmínil použití ochranných bariér v podobě světelných clon, či podlah a rohoží citlivých na tlak.

V případě, kdy ani tato ochrana není zcela dostatečná, nezbyvá než veškerou zbylou pozornost soustředit na pracovníky manipulující se zařízením a vybavit je potřebným ochranným vybavením určeným k eliminaci zbytkových rizik, čemuž předchází řádné proškolení. Mezi typické ochranné pomůcky patří přilba, reflexní vesta, brýle, sluchátka či špunty do uší. Přesnější specifikace bezpečnostních opatření včetně ochranných pomůcek je úkolem dodavatele stroje.

Bezpečnost strojních zařízení velmi úzce souvisí s jejich spolehlivostí. Při konstrukci jednotlivých strojních zařízení je třeba dbát na to, aby při požadovaném procesu se vykonala vždy právě a jen ta operace, které je od stroje požadována. Je důležité zamezit neúmyslnému spuštění stroje, a proto se mohou zařízení vybavit například pultem dvouručního ovládání, kdy jednotlivá tlačítka, chceme-li spínače, jsou umístěna v jisté minimální vzdálenosti od sebe tak, aby obsluha nemohla zmáčknout obě tlačítka jednou rukou naráz. Obě tlačítka mohou být navíc vybavena kryty pro další zvýšení bezpečnosti, aby nemohlo dojít k jejich nechtěnému sepnutí. Dále je třeba vybavit strojní zařízení alespoň jedním zařízením k nouzovému zastavení celého stroje.

Stroj je třeba také zabezpečit proti neočekávaným situacím, jako je výpadek napájení, či náhlé krátkodobé přetížení. V takovýchto situacích je třeba ochránit stroj před možným poškozením použitím celé řady nejrůznějších typů snímačů, v případě překročení maximálního zatížení pak tlakových pojistných ventilů. Úkolem těchto prvků je ohlásit náhlou změnu stavu, případně automaticky přerušit chod stroje do doby, než doje k návratu na požadované provozní podmínky. V neposlední řadě je nutné eliminovat rizika spojená se změnou teploty, narůstajícími vibracemi, hlukem a celou řadou dalších faktorů.

Pneumatické lisy společně s dřevoobráběcími stroji, vstřikovacími stroji apod. patří do skupiny označovaných za nebezpečné stroje. Tyto typy strojních zařízení tak podléhají speciálním opatřením, které jsou podrobně definovány v jedné z příloh výše zmíněné směrnice. V podstatě se jedná o to, že tato zařízení nesplňují standardní, harmonizované evropské normy, a je tedy třeba pro uvedení do provozu postupovat na základě nařízení uvedených ve směrnici.

Za dodržení všech výše uvedených kritérií, tak aby odpovídaly požadavkům na ochranu zdraví a bezpečnosti, musí být někdo zodpovědný. Zpravidla se jedná o projektanta daného strojního zařízení, případně společnost realizující jeho výrobu a distribuci. K zařízení je nutné doložit kompletní výkresovou dokumentaci, technické specifikace jednotlivých částí, výsledky prováděných zkoušek atd. Obecně hovoříme o tzv. „*prohlášení o shodě*“ [1]. Toto nařízení se týká všech strojních zařízení, která jsou prodávána na území EEA. Současně musí být všechny stroje opatřeny značkou CE. Ta stanovuje, že daný stroj splňuje všechny požadavky vyplývající s patřičných evropských směrnic. V případě, kdy stroj není vybaven touto značkou, nebo v případě, kdy jí vybaven je, ovšem zařízení nesplňuje některý z požadavků na ochranu zdraví a bezpečnosti, hovoříme o porušení zákona.

Směrnice pro používání pracovních zařízení pracovníky na pracovišti je určena uživatelům strojních zařízení, na rozdíl od předchozí směrnice, která se týkala jejich distributorů. V principu definuje základní povinnosti zaměstnavatelů vzhledem k používání jednotlivých zařízení pracovníky na pracovišti. Definuje povinnost zaškolení obsluhujícího personálu včetně seznámení s důležitými informacemi ohledně bezpečného používání strojů. Minimální požadavky na bezpečnost jsou stanoveny v závislosti na konkrétní zemi Evropské hospodářské oblasti, jelikož přesné znění této směrnice je v moci každé z nich [1].

### **2.3.2 Normy upravující bezpečnost průmyslových strojních zařízení obecně**

Stanovení bezpečnosti strojních zařízení není jen otázkou směrnic, ale také norem. Jejich použití je ryze dobrovolné, na rozdíl od právních předpisů, které jsou závazné. Bezespornou výhodou jejich použití je snazší cesta k prokázání shody s požadavky směrnice o strojních zařízeních.

V posledních letech jednotlivé země usilují o sjednocení norem. Tímto krokem se postupně z národních norem stávají normy mezinárodní, které stanovují organizace ISO a IEC. Norma IEC se zabývá pouze oblastí elektrotechniky, všechny zbylé oblasti pokrývá norma ISO.

Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) spolu s mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) vytváří normy, které jsou již v mnoha zemích velmi často používány pro jejich efektivnější a bezpečnější přístup ke konstrukci, výrobě i samotnému používání strojních zařízení. Nespornou výhodou mezinárodních norem je usnadnění v rámci obchodu mezi jednotlivými zeměmi. Nadále však existují normy národní, popřípadě regionální, které prosazují lokální požadavky.

V rámci zemí Evropské hospodářské oblasti se dodnes ve velké míře používají evropské normy označované jako EN. Nově vzniklé evropské normy však většinou svým obsahem odpovídají normám ISO a IEC. V České republice se dodnes můžeme setkat s českou technickou normou, která je označována zkratkou ČSN.

### **2.3.3 Normy upravující pneumatické systémy**

Norem týkajících se pneumatických systémů existuje celá řada. Norma EN ISO 13849-1 se zabývá bezpečnostními požadavky řídicích systémů včetně návrhů jejich bezpečnostních prvků. Její uplatnění je široké, neboť ji lze aplikovat na pneumatické, hydraulické, elektrické i mechanické systémy [1]. Norma přímo nedefinuje, které bezpečnostní prvky a systémy musí být v konkrétním případě využity [2].

Normu, kterou můžeme aplikovat přímo na pneumatické lisy, je norma ČSN EN ISO 16092-1 (Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů - Lisy - Část 1: Obecné bezpečnostní požadavky), která nahradila normu ČSN EN 13736+A1 (Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Pneumatické lisy). Předmětem této normy je mimo jiné specifikace bezpečnostních požadavků spojených s konstrukcí, výrobou a dodáváním lisů [14].

Normami, které se zabývají pneumatickými prvky obecně, jsou normy ČSN 10 9004 a ČSN 10 9005. První norma definuje všeobecné technické požadavky, druhá pak stanovuje všeobecné požadavky na bezpečnost.

## **2.4 Aplikace bezpečnostních prvků na dané zadání**

V případě problematiky mé diplomové práce je třeba zohlednit celou řadu faktorů, které by mohly ohrozit jak bezpečný provoz lepicího stroje, tak i zdraví obsluhujícího personálu.

Pneumatický obvod by měl být zajištěn ochranou před neočekávaným spuštěním stroje. Pro uvedení stroje do chodu navrhuji použití dvouručního ovládání, které toto riziko eliminuje. Pro mou aplikaci navrhuji umístit jednotlivá tlačítka na protilehlé okraje pracovního stolu vzhledem k určité minimální požadované vzdálenosti mezi nimi. Tlačítka svým umístěním nesmí omezovat pracovní prostor, přesto je musí být možné snadno a pohodlně aktivovat.

Pro případ, že by došlo ke vzniku nebezpečné situace, je zařízení vybaveno tlačítkem pro nouzové zastavení stroje. V okamžiku, kdy dojde k aktivaci tohoto tlačítka, zařízení se zastaví a pístnice setrvává ve stavu, ve kterém se nacházela při aktivaci tlačítka. Funkce tohoto bezpečnostního prvku je podrobně popsána v podkapitole **2.4.1**.

Aby bylo možné lepicí stroj opětovně spustit, je třeba vždy mít pístnici pneumotoru v základní, tedy zasunuté poloze. K tomu slouží další, tzv. resetovací tlačítko, které je třeba aktivovat po použití tlačítka pro nouzové zastavení. Aktivací dojde k zasunutí pístnice do základní polohy a zařízení je připraveno pro opětovné spuštění.

V případě výpadku stlačeného vzduchu a opětovného obnovení jeho dodávky, nesmí dojít k nečekanému, samovolnému pohybu válce dolů nebo nahoru. Tuto ochranu rovněž řeší resetovací tlačítko, jehož aktivací po opětovném přivedení vzduchu dojde k rychlému a bezpečnému odvodu vzduchu z zařízení a tedy k návratu pístnice do základní polohy.

Aktivace resetovacího tlačítka je nutná také v případě prvotního přivedení vzduchu do systému a to i přesto, že je pístnice v základní poloze. Aktivací tlačítka dojde k přestavení rozváděče umožňujícího průtok stlačeného vzduchu k pneumotoru.

Resetovací tlačítko může dále posloužit také v případě nebezpečné situace, kdy by došlo k selhání některého z bezpečnostních systémů. Jeho aktivací, nezávisle na aktuálním stavu stroje, by došlo k bezpečnému odvzdušnění systému a návratu pístnice do výchozí polohy. Obě výše zmíněná bezpečnostní tlačítka jsou rovněž součástí pracovního stolu.

Dále v souladu se směrnicemi a normami navrhuji použití ochranného krytu okolo celého lepicího stroje. Pro tento ochranný kryt navrhuji použít konstrukci z hliníkových profilů a čirých polykarbonátových desek. Přední stranu ochranného krytu budou tvořit otevíratelná dvířka, která umožňují spuštění stroje pouze v zavřeném stavu. Jedná se tedy o další nutnou podmínku, bez které nelze stroj spustit. Jakmile dojde k otevření dvířek při současném vysouvání pístnice pneumotoru, zareaguje bezpečnostní prvek na změnu stavu a dojde k návratu pístnice do výchozí polohy. Je-li pístnice již ve vysunuté poloze a následně dojde k otevření dvířek, aktivováním dvouručního ovládání nedojde k žádnému úkonu a pístnice zůstane ve vysunuté poloze, dokud se dvířka nezavřou. Poté je možné znova aktivovat tlačítka dvouručního ovládání, čímž dojde k zasunutí pístnice pneumotoru.

#### 2.4.1 Nouzové zastavení stroje

Dle směrnice pro strojní zařízení musí být každé zařízení vybaveno minimálně jedním systémem pro nouzové zastavení. Tlačítko nouzového zastavení slouží k ochraně před poškozením stroje a zraněním obsluhujícího personálu. V literatuře se můžeme setkat také s označením „*Emergency STOP*“ z anglického jazyka či „*Not-Aus*“ z jazyka německého [15].

Konstrukčních typů je nepřehledné množství. Kromě tlačítek se můžeme velmi často setkat s lankovými vypínači. Základem tlačítkového vypínače je otočné červené tlačítko hříbovitého tvaru, které bývá většinou umístěno na žlutém pozadí, jako je tomu na **obr. 7**.



**Obr. 7** – Příklady konstrukcí tlačítek nouzového zastavení [15]

Lankové vypínače mají své uplatnění především u dopravníku, viz **obr. 8**. Pomocí tažného lankového vypínače jsme schopni v případě potřeby v jakémkoliv bodě přerušit dodávku energie. Zatažením za lanko v libovolném směru dojde k vypnutí vypínače. To je umožněno díky tažným aretačním spínačům, které jsou pevně spojeny s těmito lanky [1]. Veškeré zásady týkající se problematiky nouzového zastavení definuje norma EN ISO 13850 (Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci) [2].



**Obr. 8** – Systém lankového bezpečnostního vypínače [2]

Správná funkce nouzového zastavení nese s sebou několik zásad. Aktivace musí proběhnout v jednom kroku jediným lidským zásahem, při kterém se zastaví všechny pohyby stroje, dojde k deaktivaci všech ostatních funkcí, které jsou potlačeny na dobu, dokud nedojde k opětovnému spuštění stroje. Zároveň dojde k odpojení veškerých zdrojů energií, čímž se eliminují případná rizika, jako tomu je například v případě naakumulované energie, která by se mohla přeměnit na potencionální zdroj nebezpečí [15].

Nutné je však podotknout, že zařízení pro nouzové zastavení neplní primární bezpečnostní úlohu. Takováto zařízení totiž dokážou zabránit či detekovat nebezpečnou situaci samostatně. Nouzové zastavení slouží pouze jako doplňkové bezpečnostní zařízení, jelikož funguje na principu lidské reakce, kdy obsluhující personál musí vyhodnotit, zda nastává nebezpečí a vlastní iniciativou jej tak aktivovat [1]. Proto je vhodné vybavit systém dalšími ochrannými prvky například v podobě bezpečnostních brzd, jelikož vlivem setrvačnosti může dojít k samočinnému doběhu zařízení [15].

Umístění zařízení k nouzovému zastavení stroje musí být operátorovi dobře přístupné ze všech míst, aby byla rychlost jeho reakce aktivovat nouzový vypínač co nejkratší. Zařízení musí být stále v provozu, což vyžaduje jeho vysokou spolehlivost. Zpravidla každý ovládací panel musí být vybaven alespoň jedním zařízením pro nouzové zastavení, další jsou pak otázkou konstrukce. Tlačítko pro nouzové zastavení může být například součástí pultu dvouručního ovládání, jako je tomu na **obr. 9**.



**Obr. 9** – Dvouruční ovládač JSTD 20 vybavený zařízením nouzového zastavení [2]

Užití víceprvkového zařízení pro nouzové zastavení bych doporučil v případě použití tvářecích strojů, jako jsou právě lisy či buchary, obzvláště pak u starších typů, které ve své době nepodléhaly současným směrnici a normám a jejich zabezpečení je tak nedostatečné. U těchto zařízení bych doporučil umístit další nouzová tlačítka do úrovně kolen, případně do oblasti chodidel. Tato umístění by představovala jediná možná řešení v případě, kdy by například lis zmáčkl obě ruce pracovníka a jiný pohyb, než úder kolenem do nouzového vypínače či sešlápnutí nouzového vypínače, by nebyl možný. V těchto případech tak hovoříme o záložních stupních bezpečnosti. Většina novodobých strojních zařízení je však vybavena ochrannými kryty a nevyžadují již takováto opatření. Pohyblivé části strojů jsou často monitorovány a hlídány celou řadou systémů, označovaných jako ochranné bariéry.

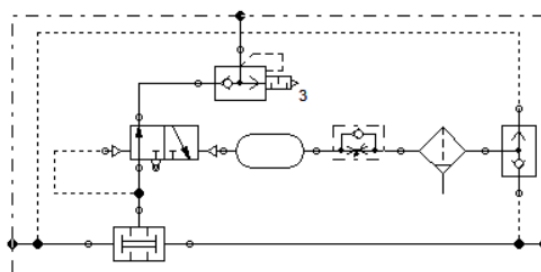
V mém případě považuji za dostatečné jedno tlačítko pro nouzové zastavení, jelikož je navržený lepicí stroj vybaven ochranným krytem a celou řadou dalších bezpečnostních funkcí.

#### **2.4.2 Dvouruční ovládání**

Systém dvouručního ovládání díky své konstrukci a uspořádání zabraňuje neúmyslnému spuštění stroje. Způsob jeho použití také zabraňuje vniknutí pracovníka do pracovního prostoru po dobu trvání nebezpečného stavu. Bezpečnost je řešena návratem pístnice do výchozí polohy v případě upuštění jednoho, případně obou tlačítek v době před dosažením koncové polohy vysouvání. Teprve v okamžiku, kdy se obě tlačítka vrátí do své výchozí polohy, je možné opětovně zahájit vysouvání pístnice. Pro zahájení je nutné současně zmáčknout obě tlačítka během časového úseku 0,5 s. Pokud nedojde ke stisknutí během tohoto časového intervalu, nestane se nic. Minimální vzdálenost obou tlačítek se stanovuje na základě doby zastavení zařízení, avšak nesmí být menší než 100 mm. Současně je nutné zamezit tomu, aby obsluha nemohla aktivovat obě tlačítka chybně,

například dlaní a loktem jedné ruky. Proto se velmi často využívá ochranných krytů tlačítek. Podrobně jsou všechny požadavky na bezpečnost stanoveny v normě ČSN EN ISO 13851 (Bezpečnost strojních zařízení - Dvouruční ovládací zařízení - Zásady pro konstrukci a výběr) [1] [5].

Podrobné funkční schéma bloku dvouručního ovládání je patrné z následujícího obrázku, viz **obr. 10**. Blok je tvořen logickým ventilem AND, bistabilním 3/2 rozváděčem ovládaným pneumaticky, rychloodvzdušňovacím ventilem, vzdušníkem, jednosměrným škrticím ventilem, vzduchovým filtrem s odlučovačem kondenzátu a logickým ventilem OR. Blok je v rámci návrhu lepicího stroje připojen ke dvěma tlačítkům v podobě monostabilních 3/2 rozváděčů ovládaných pneumaticky. Tlačítka, obecně ovládací prvky, nejsou součástí tohoto bloku.



**Obr. 10** – Podrobné schéma bloku dvouručního ovládání

### 2.4.3 Ochranné kryty a bariéry

Zařízení určených k eliminaci zranění existuje celá řada. Mezi často používaná ochranná zařízení patří kryty nejrůznějších typů. Můžeme se setkat s blokovými kryty, ale také s celými systémy zabezpečení, například v podobě oplocení, viz **obr. 11**.

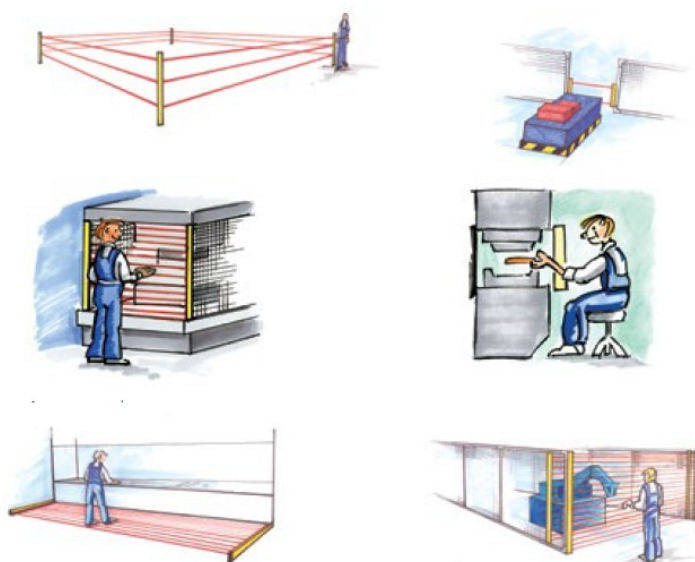


**Obr. 11** – Aplikace systému oplocení [2]



Mezi nejčastěji používané komponenty v rámci realizace ochranných systémů patří hliníkové profily spolu s pevnými či protihlukovými panely. Kromě hliníku a oceli jsou panely velmi často tvořeny z plexiskla, polykarbonátu, případně z tvrzeného bezpečnostního skla. Stěny ochranného krytu mohou být také tvořeny pletivem.

Úkolem ochranných krytů je fyzické zabezpečení přístupu do nebezpečného prostředí, ale i ochrana před nebezpečnými pohyby stroje v případě, že jsou nebezpečná místa přístupná. V souvislosti s volně dostupnými prostory bych zmínil použití ochranných bariér v podobě světelných clon (mříží) či bezpečnostních rohoží. Do této skupiny bezpečnostních opatření spadá i dvouruční ovládání. Výše zmíněné bezpečnostní systémy představují zařízení, která fyzicky neoddělují prostory a nezamezují tak pohybu pracovníka, viz **obr. 12**. V případě vniknutí do střeženého prostoru dojde k zastavení stroje [1].



**Obr. 12** – Použití světelných clon a mříží v praxi [2]

Světelné clony jsou velmi často používanou ochranou u všech typů lisů. Svou funkcí nahrazují vstupní dvířka ochranné konstrukce. Otázkou je však míra rizikovosti. Je zde kladen velký důraz na dobu reakce světelné clony a tedy i na její umístění vzhledem ke stroji. Minimální požadovaná vzdálenost clony od stroje musí být taková, aby zařízení dokázalo zareagovat na vniknutí do sledovaného prostoru a vypnout tak stroj z chodu dříve, než dojde k úrazu pracovníka. Požadavky na vhodné umístění bezpečnostních zařízení s ohledem na rychlost přiblížení částí lidského těla jsou stanoveny v normě ČSN EN ISO 13855 [14].

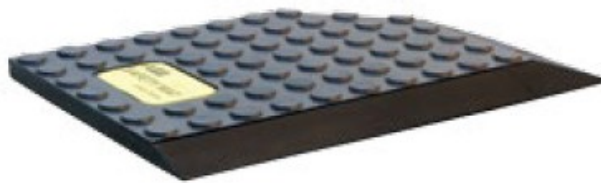
Zda je lepší zvolit světelnou clonu nebo světelnou mříž je otázkou každé konkrétní aplikace. Rozdíl mezi clonou a mříží je v počtu vysílaných paprsků a také ve vzájemné vzdálenosti mezi nimi. U světelné clony se šíří několik světelných paprsků vedle sebe, u světelné mříže je to pouze jeden, maximálně však čtyři. Obecně platí, že světelné clony se aplikují u zařízení, kde jsou vyžadovány malé vzdálenosti mezi jednotlivými paprsky. Příkladem může být vniknutí prstů nebo dlaně do pracovní oblasti, viz **obr. 13**. Mříže monitorují především velké vzdálenosti. Typickou aplikací je zabezpečení vstupu do pracovní oblasti. Vše je ovšem také otázkou rozpočtu. Podrobněji je tato problematika popsána v již zmíněné směrnici pro strojní zařízení, případně v celé řadě bezpečnostních příruček.



**Obr. 13** – Rozpětí paprsků detekující předměty o velikosti dlaně (vlevo) a prstu (vpravo)  
[2]

Nášlapné bezpečnostní rohože slouží podobně jako předchozí bezpečnostní zařízení k ochraně osob, které pracují s nezakrytými stroji. Jedná se typ ochranné bariéry, která fyzicky neodděluje prostor mezi strojem a pracovníkem. Nejčastěji se s nimi můžeme setkat v prostorách okolo lisů, výrobních linek a podobně. Monitorovací systém nášlapné rohože v případě sešlápnutí detekuje tento stav a vyhodnotí jej jako nebezpečný. Následkem je zastavení stroje do doby, dokud nebude rohož uvolněna a zařízení nebude resetováno [2].

Detekce sešlápnutí rohože funguje na principu sepnutí elektrických kontaktů, které se nachází uvnitř rohože. Podrobněji je konstrukce nášlapných rohoží popsána například v bezpečnostní příručce od společnosti ABB [2]. Rovněž jako v předchozím případě je zde kladen důraz na dodržení bezpečné vzdálenosti, jakožto nejmenší možné vzdálenosti mezi rohoží a nebezpečným prostorem pracovního stroje. Všechny tyto požadavky opět stanovuje norma ČSN EN ISO 13855 [14].



**Obr. 14** – Nášlapná bezpečnostní rohož [2]

V rámci mé aplikace navrhuji použít ochranný kryt okolo celého lepicího stroje vzhledem k maximálnímu zabezpečení. Jak již bylo dříve řečeno, rám ochranného krytu bude tvořen hliníkovými profily, do kterých budou upevněny panely z čirého polykarbonátu. Tento materiál se vyznačuje vysokou odolností proti rázovému zatížení a v případě kolize nedochází k jeho roztržení. Kromě ochranných krytů se velmi často používá k oddělování prostor pro své výborné zvukové a tepelné izolační vlastnosti či pro výstavbu skleníků vzhledem k vysoké propustnosti světla [16].

Mezi možné alternativy spadá použití pletiv a svařovaných sítí, ty jsou ovšem vhodné spíše pro zamezení vstupu. Jelikož by vlivem přitlačné síly mohlo dojít k odlomení a vymrštění úlomků pracovního stroje či lepeného sedáku, je lepší využít plné plochy, kterou panel nabízí. Ochranný kryt tak plní funkci dvojího zabezpečení.

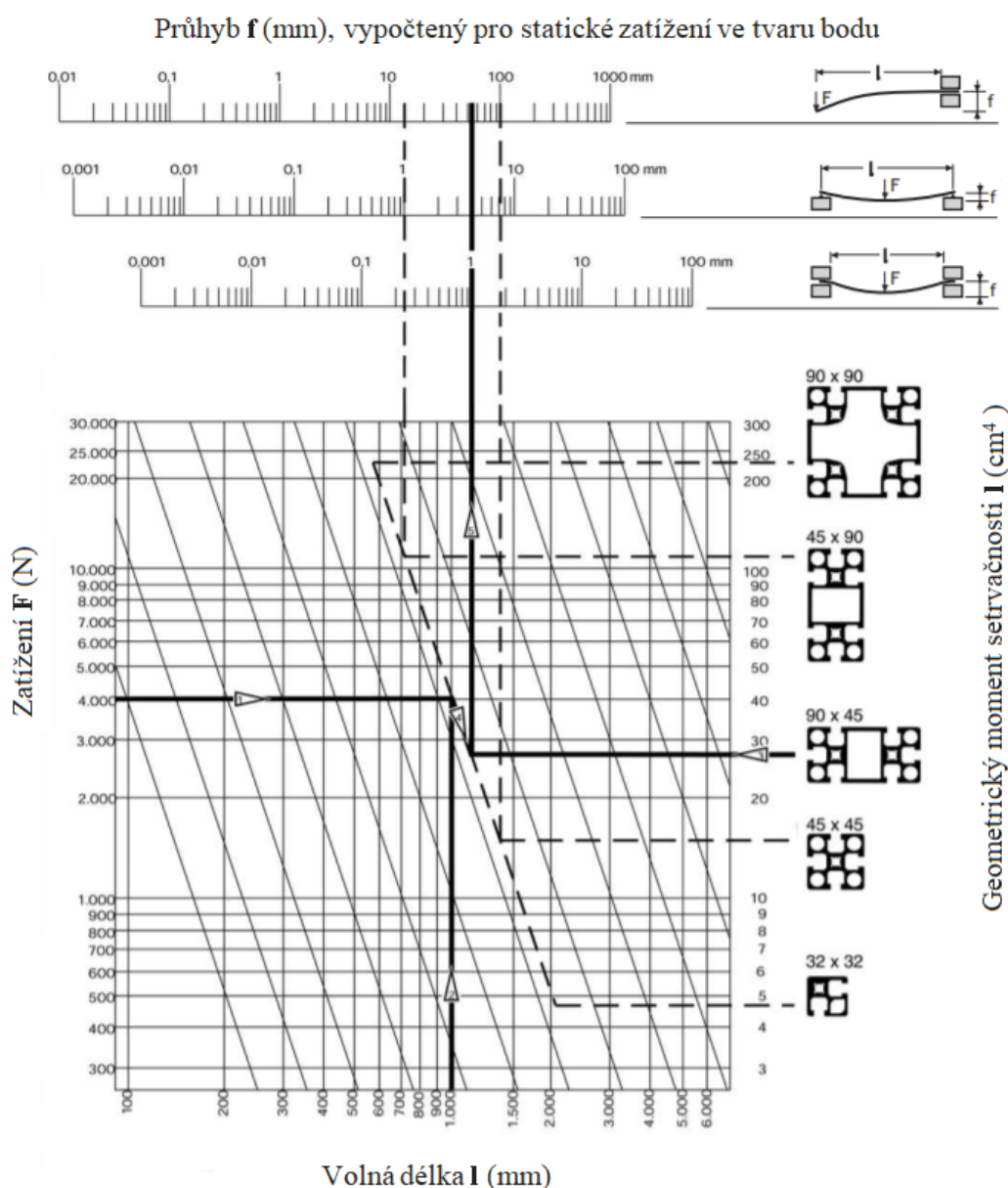
Primárním úkolem ochranného krytu je zamezit vniknutí do pracovní oblasti a zabránit tak zraněním způsobených pohybem pístnice lepicího stroje. Pro přístup ke stroji a manipulaci s lepeným předmětem slouží otevíratelná dvířka.

V rámci jiných aplikací, kde jsou panely tvořeny z neprůhledných materiálů jako je například plech, se můžeme setkat s okénky určenými ke sledování činnosti stroje. Tyto okénka neslouží k manipulaci, a proto jimi nesmí být umožněno dosáhnout do nebezpečného prostoru stroje.

Nejen v případě mé aplikace, ale i v rámci obecných bezpečnostních předpisů, jsou přesně stanoveny požadavky ohledně funkce bezpečnostního blokovacího spínače. V mém případě se jedná o monitorování stavu vstupních dvířek. Spolu se zásadami správné volby ochranných krytů jsou stanoveny normou ČSN EN ISO 12100 [1] [14].

### 3 Návrh konstrukce zařízení

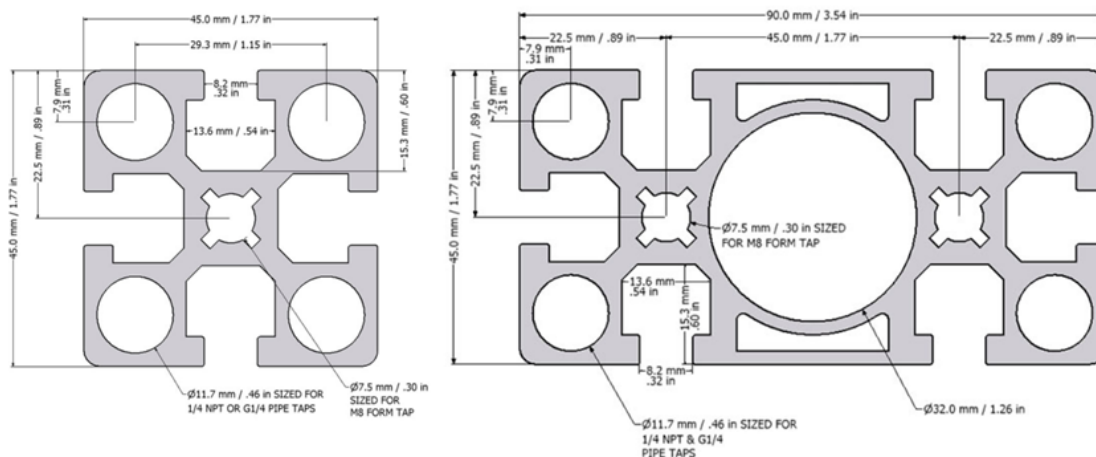
Základem jednoúčelového lepicího stroje je pracovní stůl, který slouží jako nosná konstrukce pro uchycení rámu pneumatického motoru a ochranného krytu. Součástí pracovního stolu je vestavěná skříň pro uložení řídicích pneumatických prvků. Pracovní stůl spolu s ochranným krytem je složen z odlehčených hliníkových profilů od společnosti MiniTec. Výhodou těchto hliníkových profilů je kromě lehkosti materiálu vysoká míra variability smontování. Zároveň jsou hliníkové profily dostatečně pevné, jak je patrné z **obr. 15**, na kterém je znázorněn průhyb jednotlivých profilů MiniTec, v závislosti na uchycení, zatížení a délce profilu.



**Obr. 15** – Grafické znázornění průhybu jednotlivých MiniTec profilů [18]

### 3.1 Pracovní stůl

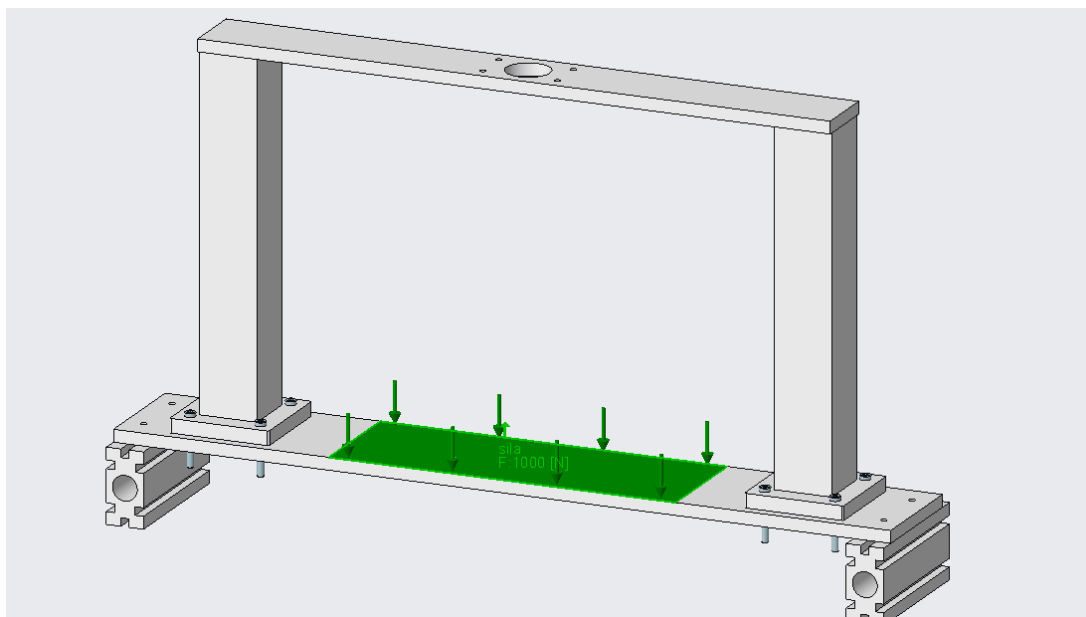
Pro konstrukci pracovního stolu volím kombinaci dvou profilů, konkrétně čtvercového profilu o velikosti 45 mm a obdélníkového profilu 45 mm x 90 mm, **obr. 16**.



**Obr. 16** – Řez jednotlivými hliníkovými profily [19]

Čtvercový profil navrhuji použít pouze pro spojení jednotlivých noh stolu k zajištění jeho stability. Zbývá část je tvořena většími, obdélníkovými profily. Pod pracovní deskou stolu se nachází zpevnění v podobě dvou příček a čtyř rohových výztuží. Tyto profily jsou umístěny na výšku, čímž je zajištěna vyšší pevnost konstrukce. Důsledkem je tak snížení velikosti průhybu vlivem zatížení. Při teoretické hodnotě zátěže 1000 N na 1 m délky takto uloženého profilu dojde na základě výše uvedeného grafu k průhybu o velikosti 0,3 mm. Uvážíme-li, že síla nepůsobí pouze na jeden hliníkový profil, ale je rovnoměrně rozložena na pracovní desku a tedy i na celou konstrukci, vzniklá deformace pracovního stolu bude takřka zanedbatelná a to i za předpokladu, že na pracovní stůl bude kromě zatížení způsobeného činností pneumatického motoru také působit zatížení dané hmotností ocelového rámu včetně pneumotoru a ochranného krytu.

Konstrukci pracovního stolu jsem následně podrobil několika statickým analýzám v softwaru Creo Simulate 4.0, abych ověřil výše zmíněné tvrzení. V rámci prvotní analýzy jsem otestoval odolnost zvolené ploché oceli o tloušťce 15 mm vůči zatěžující síle 1000 N. Tato síla standardně působí na lepený sedák a tím i na velkou část pracovní desky. V rámci této analýzy však působí výše zmíněná síla pouze na ocelovou část, viz **obr. 17**. Cílem je tak určit, zda zvolená tloušťka ploché oceli je dostatečná a bude tak schopna odolat danému zatížení samostatně.



**Obr. 17** – Zatížení ploché oceli o tloušťce 15 mm

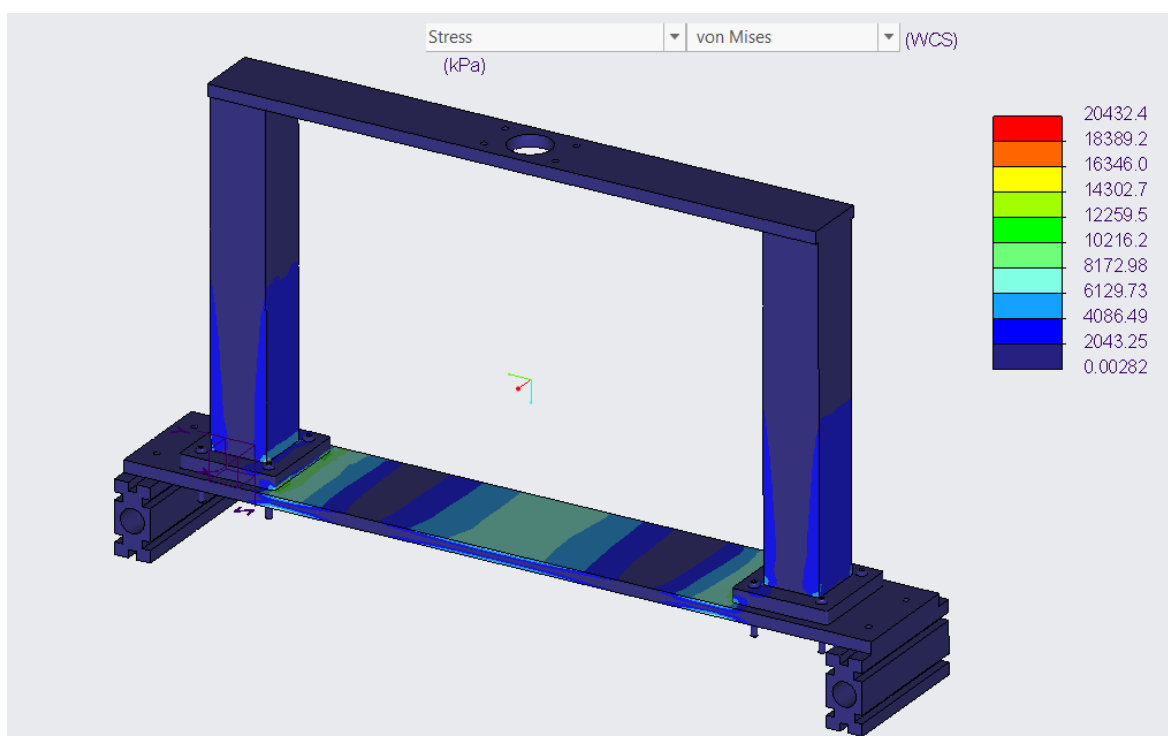
Tato plochá, neboli také pásová ocel, je v rámci implementace zjednodušeně označována jako ocelová deska. Je nejvíce namáhanou částí pracovní desky stolu, ke které je navíc přišroubován ocelový rám nesoucí pneumotor. V rámci návrhu tak volím ocel ČSN 11 523. Jedná se konstrukční ocel s vyšší pevností, vhodnou pro použití v rámci konstruování pracovních strojů. Pro tuto ocel válcovanou za tepla platí do tloušťky 16 mm následující parametry:

- mez kluzu  $R_e = 345$  MPa,
- mez pevnosti  $R_m = 490$  MPa [24].

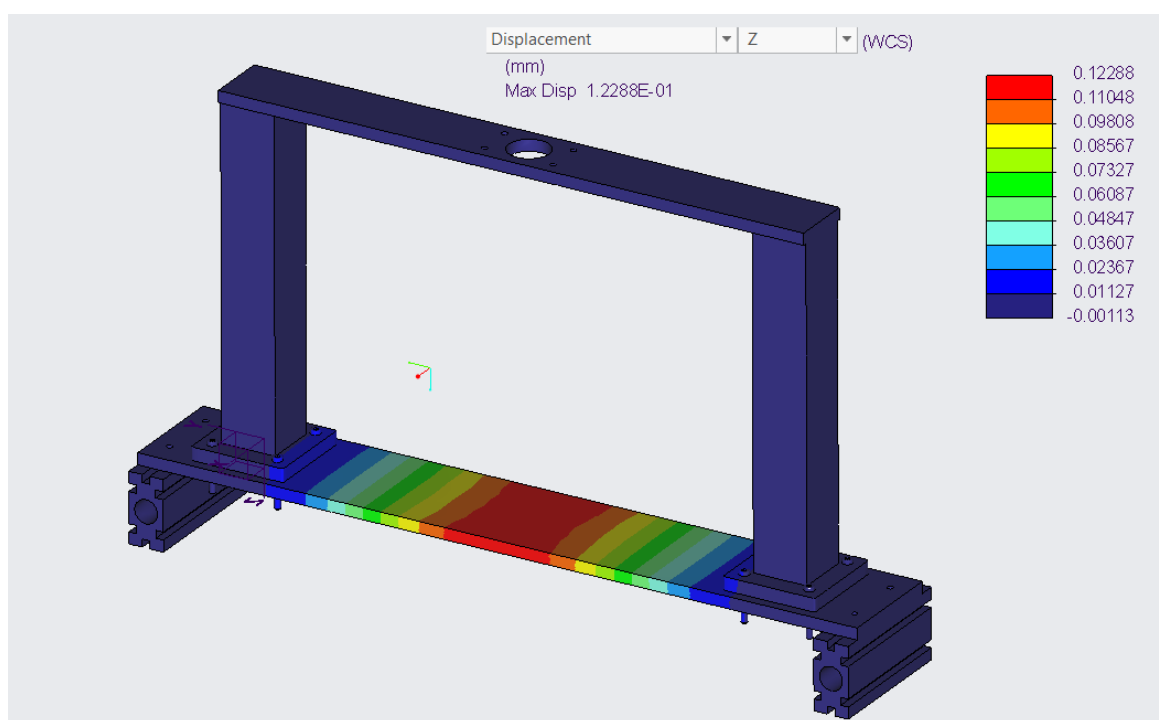
Na základě meze kluzu  $R_e$  a koeficientu bezpečnosti  $k$  je potřeba stanovit dovolené napětí  $\sigma_{dov}$ , které nesmí být překročeno. Pro výpočet volím minimální hodnotu koeficientu bezpečnosti  $k = 3$ , pak:

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k} = \frac{345}{3} = \mathbf{115\ MPa} \quad (1)$$

Maximální hodnota dosaženého napětí činí **20,43** MPa, což je méně než hodnota dovoleného napětí, viz **obr. 18**. Navržená ocelová deska tak plně vyhovuje. Z této analýzy je naopak zřejmé, že zvolená tloušťka je naddimenzovaná. Tato rezerva je tady schválně pro případ, že by byla k lepení jednotlivých částí použita větší lepicí síla. Také nechci, aby pracovní stůl byl navržen na samé hranici možností. Co se týká deformace, maximální průhyb této desky činí **0,123** mm a nachází se uprostřed její délky, viz **obr. 19**. Pro doplnění - šířka ocelové desky je 145 mm, délka pak 940 mm.



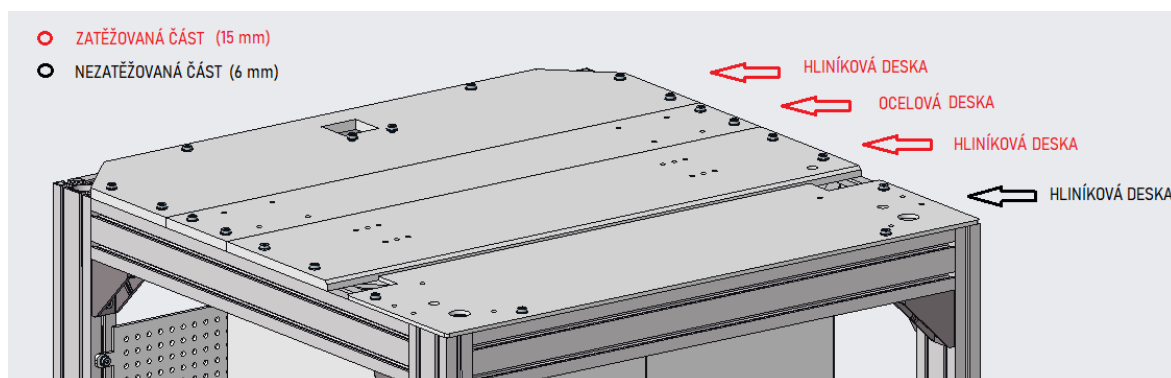
**Obr. 18** – Analýza dosaženého napětí v rámci ocelové desky



**Obr. 19** – Analýza vzniklého průhybu v rámci ocelové desky

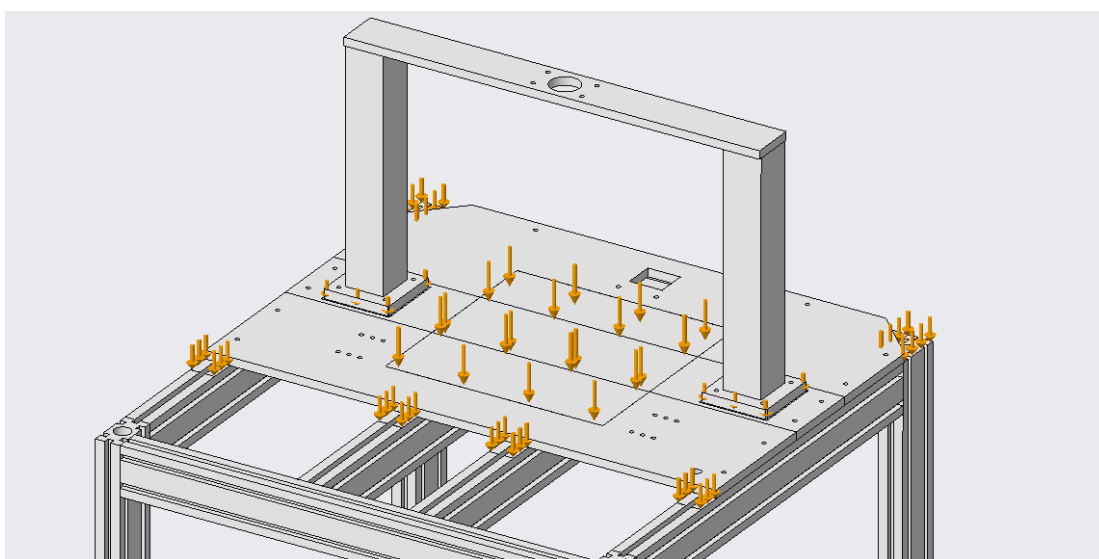


Druhou statickou analýzu jsem již provedl při reálném zatížení a to v rámci zjednodušené konstrukce pracovního stolu. Při reálném zatížení je lepicí síla rozložena i do okolních, přilehlých hliníkových desek pracovního stolu o totožné tloušťce 15 mm, viz **obr. 20**.



**Obr. 20** – Pracovní deska stolu

Stejně jako v předchozím případě působí na pracovní stůl pneumatický motor silou 1000 N. V rámci reálného zatížení je ale třeba zahrnout také působení hmotností jednotlivých částí zařízení. Na pracovní stůl tak dále působí ocelový rám pneumotoru, pneumatický motor a ochranný kryt. Ocelový rám včetně pneumotoru s přítlačným tělesem váží 27,8 kg. Toto zatížení působí na pracovní desku stolu, kdežto ochranný kryt o hmotnosti 51,3 kg působí přímo na hliníkovou konstrukci stolu. Pracovní deska tak bude navíc zatížena přibližně silou 278 N, ocelová konstrukce stolu pak ještě dalšími 513 N. Působení jednotlivých sil je patrné z **obr. 21**. V rámci lepší přehlednosti je do sestavy umístěn ocelový rám pneumotoru.



**Obr. 21** – Působení zatěžujících sil na pracovní stůl

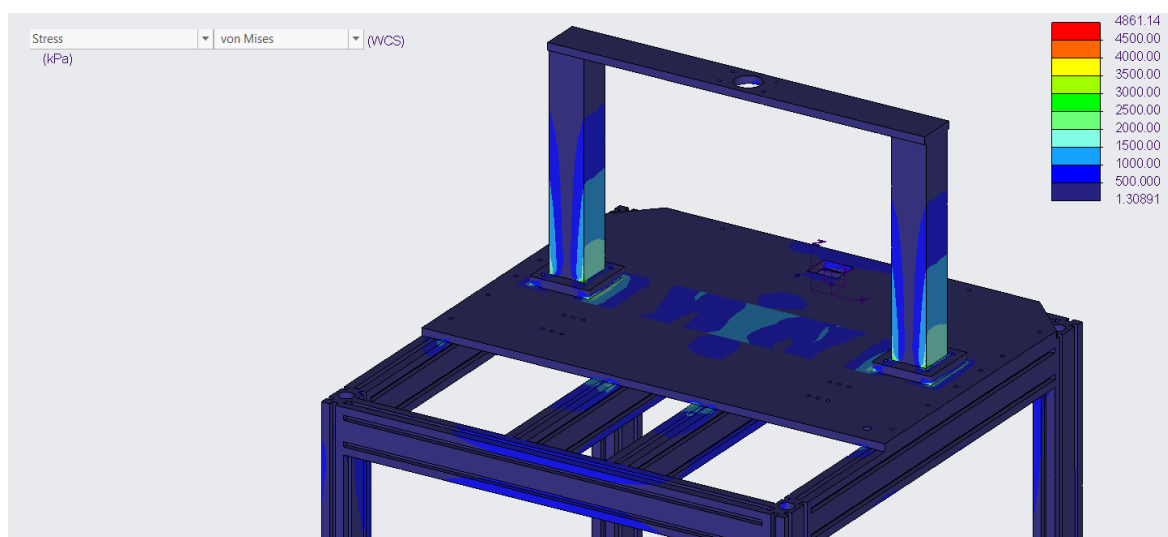


Velikost jednotlivých sil je stanovena na základě předpokladu:

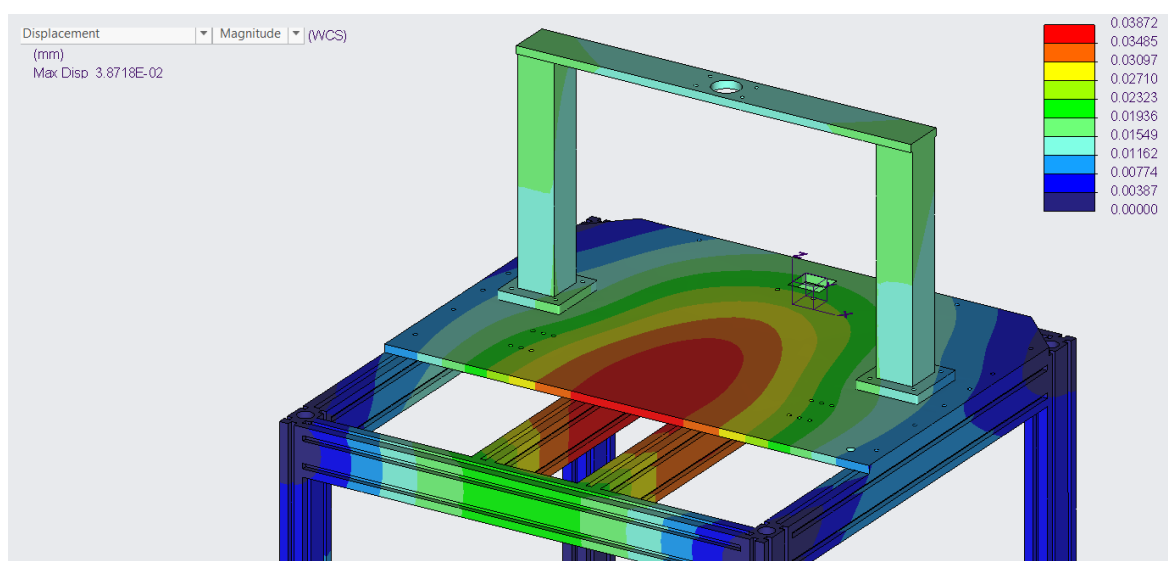
$$F_g = m_{\varepsilon} \cdot g \text{ [N]} \quad (2)$$

kde  $g$  představuje gravitační zrychlení a  $m_{\varepsilon}$  hmotnost výše zmíněných částí, které působí na konstrukci pracovního stolu. Hodnota gravitačního zrychlení činní přibližně  $9,81 \text{ m/s}^2$ , v rámci zjednodušeného výpočtu dosazují za  $g$  hodnotu  $10 \text{ m/s}^2$ .

Výsledky analýzy jsou patrné z následujících dvou obrázků. Na **obr. 22** je vyhodnocen průběh napětí v rámci celé konstrukce pracovního stolu. Maximální hodnota dosaženého napětí činní **4,86 MPa**. Co se týká celkové deformace stolu, největší průhyb dosahuje hodnoty **0,039 mm**, viz **obr. 23**.

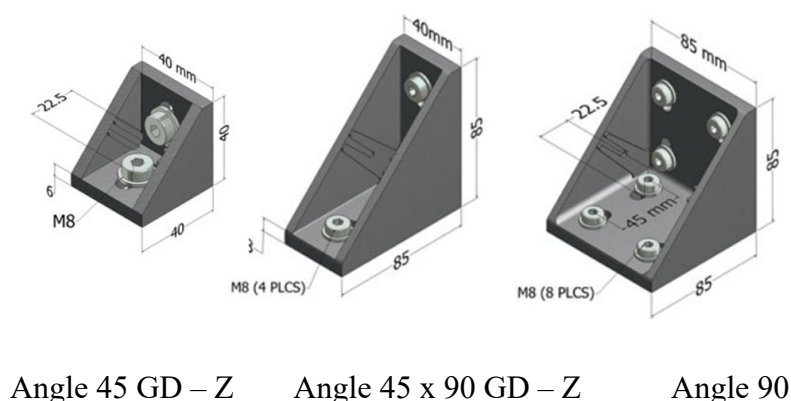


**Obr. 22** – Analýza dosaženého napětí působícího na konstrukci pracovního stolu



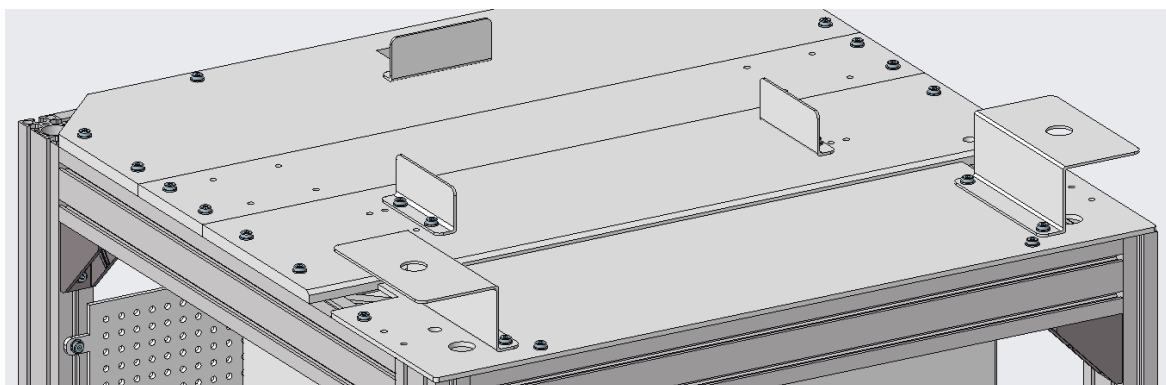
**Obr. 23** – Analýza vzniklé deformace pracovního stolu

Jednotlivé profily pracovního stolu jsou navzájem spojeny pomocí fixačních úhelníků, které využívají profilových drážek. Jednotlivé úhelníky jsou k profilům přišroubovány pomocí šroubů DIN 7984 M8x22, kruhových podložek DIN 7349 M8 a čtyřhranných matic DIN 557 M8 se zkosenými rohy, viz **obr. 24**. Co se týká pracovní desky, zatěžovaná část o tloušťce 15 mm je ke stolu přichycena pomocí šroubů DIN 7984 M8x25, nezatěžovaná část o tloušťce 6 mm pak pomocí šroubů DIN 7984 M8x20. Podložky a matice jsou stejné, jako v předchozím případě.



**Obr. 24** – Spojovací prvky použité v rámci konstrukce pracovního stolu [20]

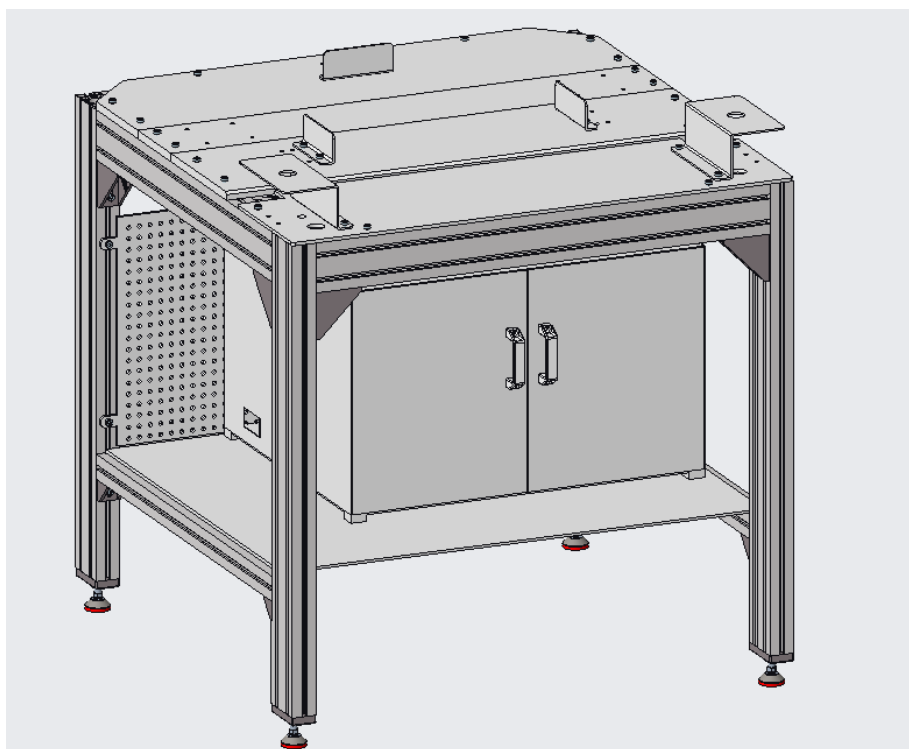
V rámci zakryté části pracovní desky se nachází mechanicky stavitelné zarážky, které slouží k ustavení lepeného sedáku, viz **obr. 25**. Tyto zarážky také zabraňují tomu, aby se přitlačovaný sedák vlivem lepicí síly mohl vychýlit z vymezeného místa. Každá ze zarážek je k pracovní desce přichycena pomocí dvou šroubů DIN 7984 M8x35. Zarážky jsou stavitelné ve třech různých polohách. To je určeno vrtáním pracovní desky. Tato variabilita umožňuje lepit tři různé velikosti sedáku. V případě, že by nastala změna ve výrobě, stačí přivrtat nové díry nebo vyměnit navržené zarážky za zarážky s jinou délkou základny. Delší základna umožňuje použití drážek pro upínací šrouby, čímž se ještě zvětší variabilita použití.



**Obr. 25** – Detailní pohled na rozmístění mechanických zarážek lepeného sedáku

V rámci nezakryté části pracovní desky se nachází otvory pro tlačítka dvouručního ovládání. Tato tlačítka jsou zakrytována pomocí jednoduchých krytů z ohýbaného plechu. Všechny rohy jsou dostatečně zaobleny, aby bylo zamezeno zranění obsluhy. Umístění těchto ovládacích tlačítek včetně jejich krytů nesmí nikterak omezovat prostor pro manipulaci s lepeným předmětem. Tlačítka jsou proto umístěna na protilehlé okraje pracovní desky a to i kvůli dodržení požadované vzdálenosti mezi oběma tlačítky. Zbylá dvě ovládací tlačítka jsou umístěna v rámci zmíněných ochranných krytů, aby zbytečně nezabírala další prostor a také aby nemohlo dojít k jejich nechtěné aktivaci. Okolo těchto tlačítek se nachází další ochranné kryty, které jsou ke stolu připevněny po namontování jednotlivých tlačítek. Vzhledem k tomu, že jednotlivá tlačítka v podobě ručně ovládaných 3/2 rozváděčů jsou k pracovní desce montována spolu s ostatními pneumatickými prvky až nakonec, jsou tyto ochranné kryty tlačítek montovány jako poslední spolu s ochranným krytem celého stroje. Umístění jednotlivých tlačítek a všech jejich ochranných krytů bude patrné později, z celkové sestavy lepicího stroje.

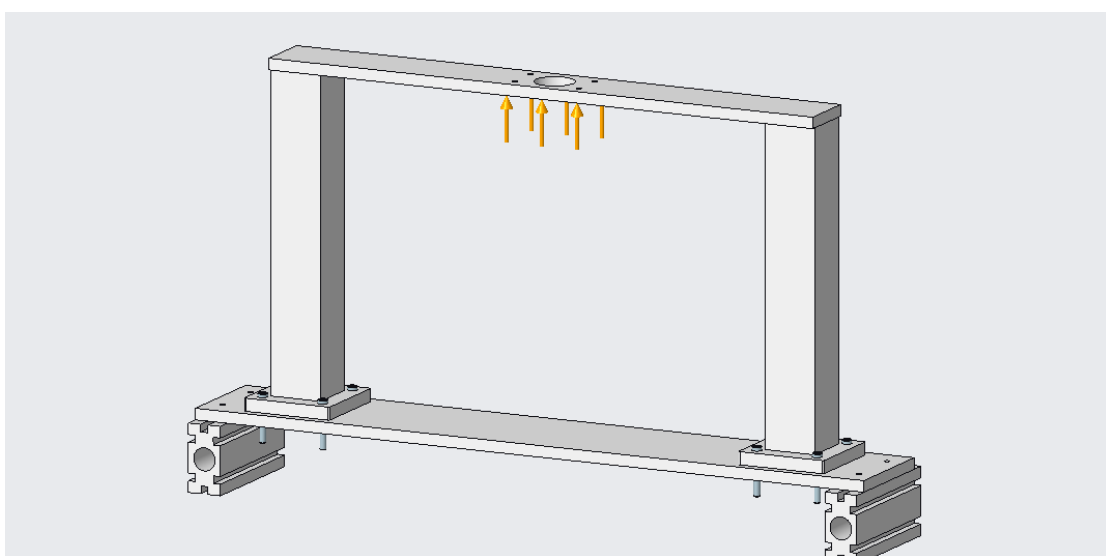
Pro uložení řídicích prvků volím ocelovou skříňku, která je vestavěna do pracovního stolu. K zadním nohám stolu je připevněný děrovaný plech, který slouží jako panel pro uchycení vybraných pneumatických prvků. Z **obr. 26** je patrný pohled na celou konstrukci sestaveného pracovního stolu. Co se týká jeho rozměrů, šířka i hloubka dosahují shodné velikosti 940 mm, výška je pak 930,8 mm.



**Obr. 26** – Konstrukce stolu jednoúčelového lepicího stroje včetně pracovní desky

### 3.2 Uchycení pneumatického motoru

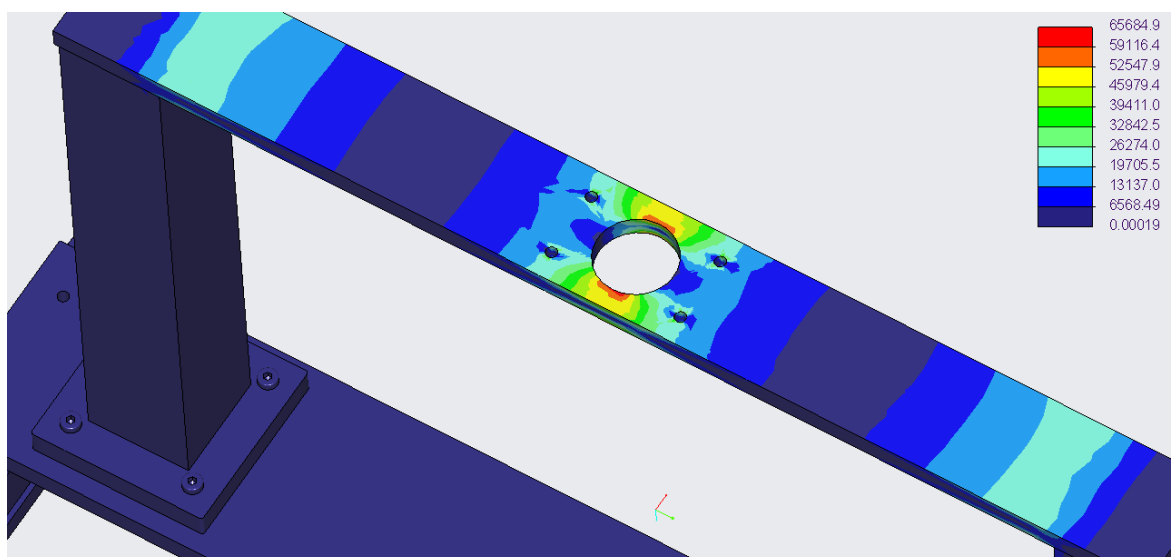
Pneumatický motor je k pracovnímu stolu uchycen pomocí svařené ocelové konstrukce. Její základ tvoří dva silnostěnné čtvercové jekly o velikosti profilu 70 x 70 x 5 mm a pásová ocel o velikosti 80 x 765 mm. Tloušťku volím stejnou jako v předchozím případě u ocelové desky pracovního stolu, tedy 15 mm. Tato horní část rámu kromě toho, že nese váhu pneumatického motoru včetně přitlačného tělesa, musí také odolat síle, která vznikne jakožto reakce na lepicí sílu. Pro zjištění, zda je zvolená tloušťka oceli dostatečná, je rovněž provedena statická analýza. V rámci ní působí na zvolenou plochu ocel maximální možná velikost reakční síly, tedy 1000 N, viz **obr. 27**.



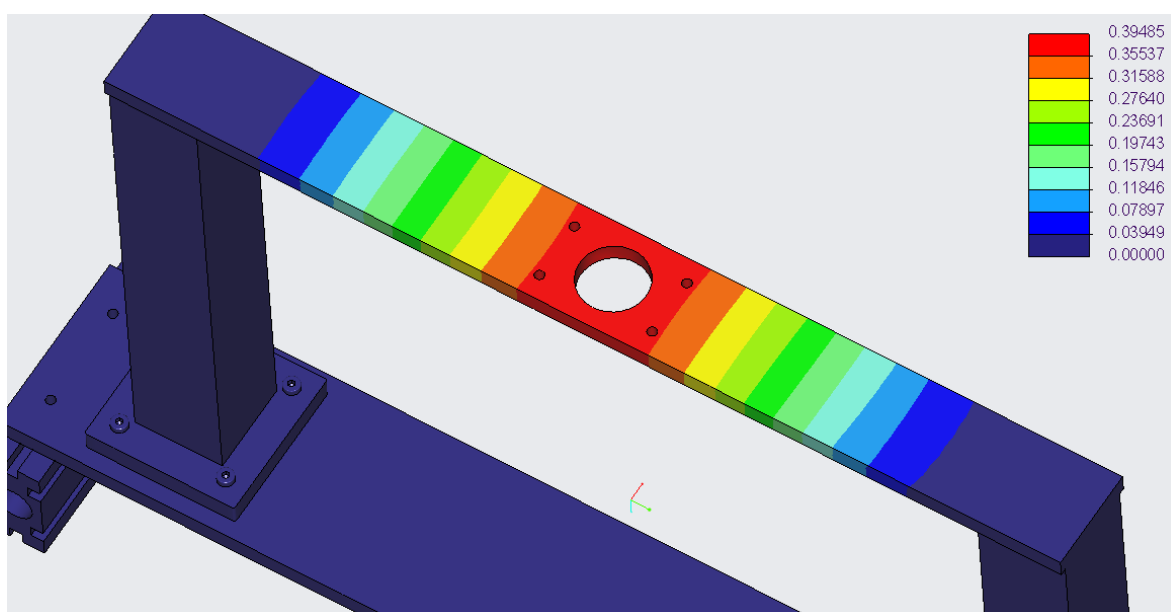
**Obr. 27** – Zatížení ocelového rámu reakční silou 1000 N

Výsledky této analýzy nebudou podobné předchozímu případu. Plochá ocel je totiž výrazně oslabena otvorem pro pohyb pístnice pneumotoru. V tomto místě hrozí největší riziko deformování. Stejně jako v případě ocelové desky pracovního stolu, volím stejný typ oceli, tudíž i všechny materiálové vlastnosti zůstanou stejné.

Maximální hodnota dovoleného napětí tak bude stejná jako v předchozím případě, tedy 115 MPa. Zbývá tedy určit, zda tato hodnota není překročena. Z výsledků analýzy je patrné, že maximální hodnota napětí dosahuje **65,7 MPa**, což je přijatelný výsledek, viz **obr. 28**. Co se týká deformace, maximální průhyb činí **0,395 mm**, viz **obr. 29**. Takto navržený ocelový rám tak vyhovuje pro dané zatížení.



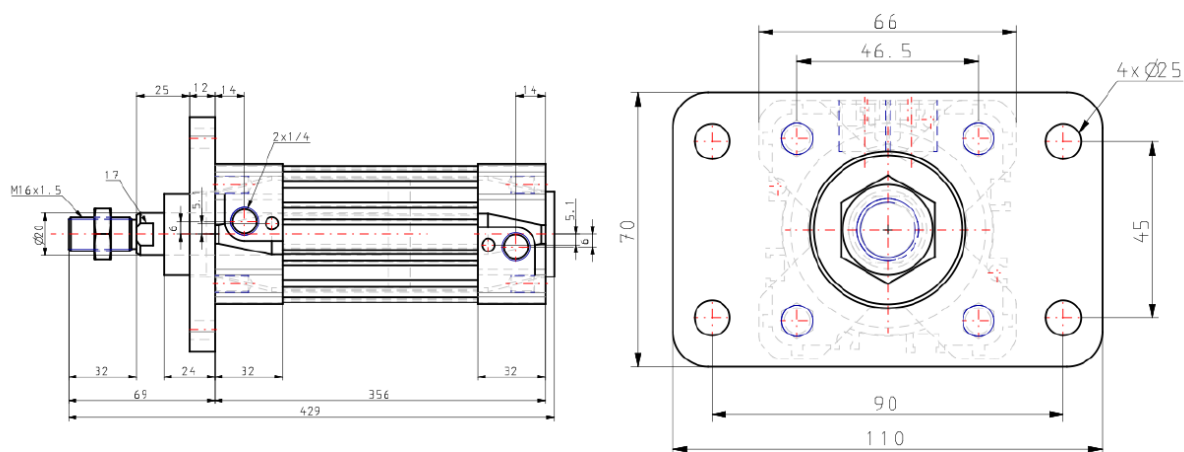
**Obr. 28** - Analýza dosaženého napětí v rámci ocelového rámu pneumotoru



**Obr. 29** - Analýza vzniklého průhybu v rámci ocelového rámu pneumotoru

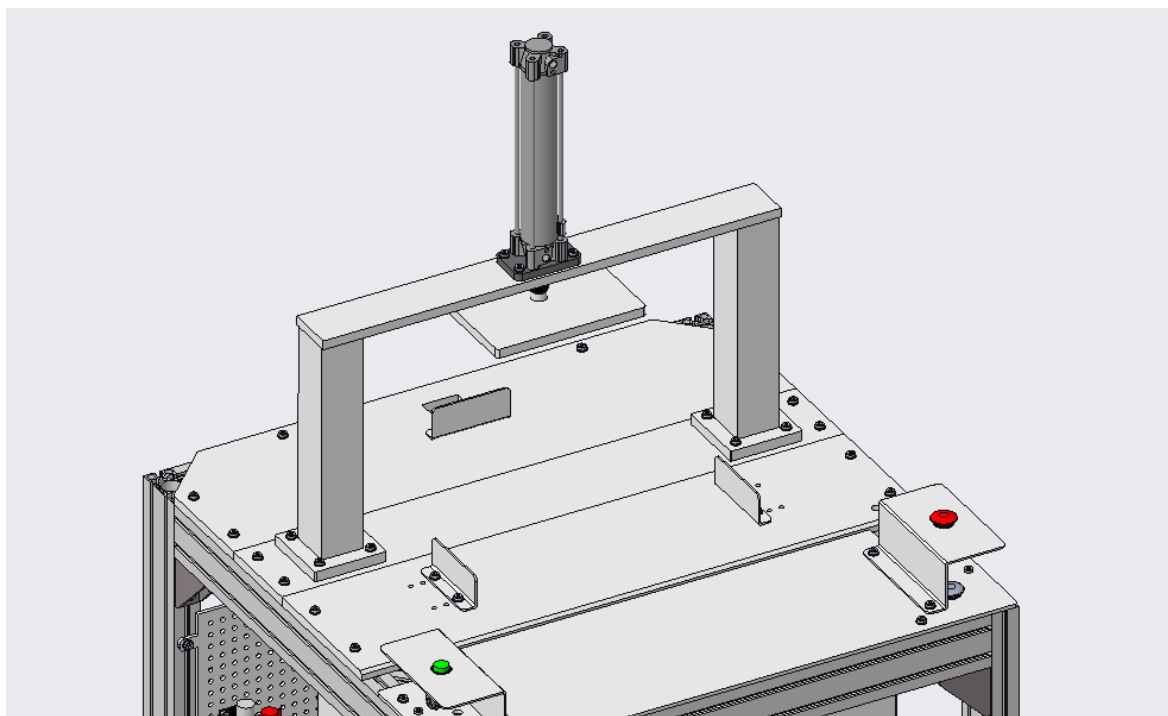
K pracovnímu stolu je ocelová konstrukce přišroubována pomocí šroubů DIN 7984 M8x60. Uchycení pneumotoru na ocelovou konstrukci je dáno přírubou typu F, jenž je součástí konfigurace pneumatického motoru. K uchycení jsou použity šrouby DIN 7984 M8x35 mm.

V rámci návrhu lepicího stroje je použit pneumatický motor o průměru pístu 50 mm a pracovním zdvihem 250 mm, jehož stanovení a následná volba jsou součástí kapitoly **4.1**. Základní rozměry důležité pro montáž pneumotoru k ocelové konstrukci jsou patrné z **obr. 30**.



**Obr. 30** – Rozměry zvoleného pneumatického motoru včetně příruby typu F [17]

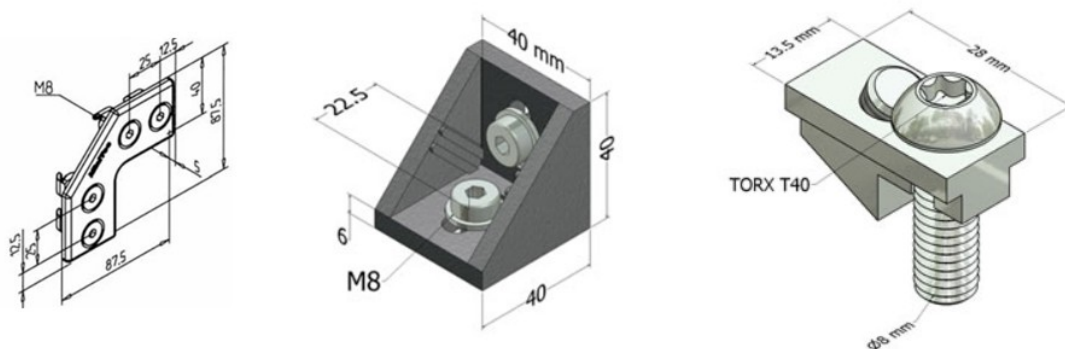
Pneumatický motor je umístěn vertikálně tak, aby vysouvání pístnice směřovalo dolů směrem k lepenému sedáku. Na konci pístnice se nachází přitlačné těleso, jehož volba závisí na aktuálně lepeném sedáku. Jedná se v podstatě o lisovací přípravek s vnitřním závitem M16. Je-li pístnice pneumotoru v zasunuté poloze, je mezi lisovacím přípravkem a pracovní deskou stolu vzdálenost 320 mm. V případě, kdy dojde k vysunutí pístnice do koncové polohy, bude vzdálenost rovna 70 mm. Tato vzdálenost odpovídá požadované výšce lepeného sedáku. Uchycení ocelové konstrukce včetně pneumatického motoru s přitlačným tělesem k pracovnímu stolu je patrné z **obr. 31**.



**Obr. 31** – Uchycení ocelové konstrukce včetně pneumatického motoru k pracovnímu stolu lepicího stroje

### 3.3 Ochranný kryt

Základem ochranné konstrukce je hliníkový čtvercový profil o velikosti 45 mm. Ke spojení jednotlivých profilů jsem využil tři různých spojovacích prvků, viz **obr. 32**.



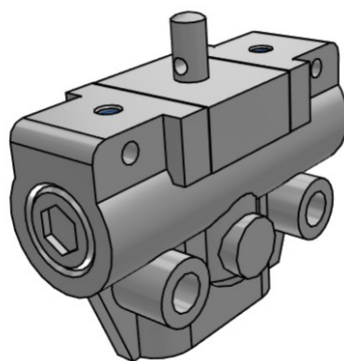
Angle Sheet VA

Angle 45 GD – Z

Power – lock faster SF short

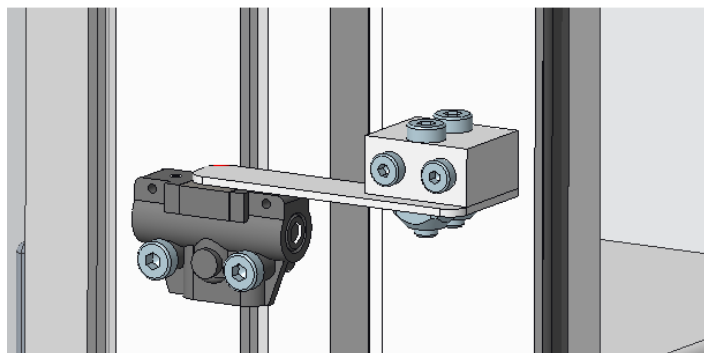
**Obr. 32** – Použité spojovací prvky v rámci montáže ochranného krytu [20]

Všechny stěny ochranného krytu tvoří panely z polykarbonátu, které jsou usazeny v drážkách hliníkových profilů s výjimkou horního panelu. Ten je ke konstrukci přišroubován pomocí šroubů DIN 7984 M8x22, jelikož jsou jednotlivé profily v místě drážek spojeny pomocí úhelníků. Čelní stěna ochranného krytu je specifická, jelikož disponuje tenkými protizávažovými dvířky s řetězovou kladkou od společnosti MiniTec [25]. Dvířka se pohybují v drážkách profilů a díky své konstrukci drží svou polohu v libovolné pozici. Dvířka jsou vybavena madlem a bezpečnostním ventilem pro snímání jejich uzavřeného stavu. Pro tuto funkci volím mechanicky ovládaný ventil VM132-M5-00A od společnosti SMC, viz **obr. 33** [23].

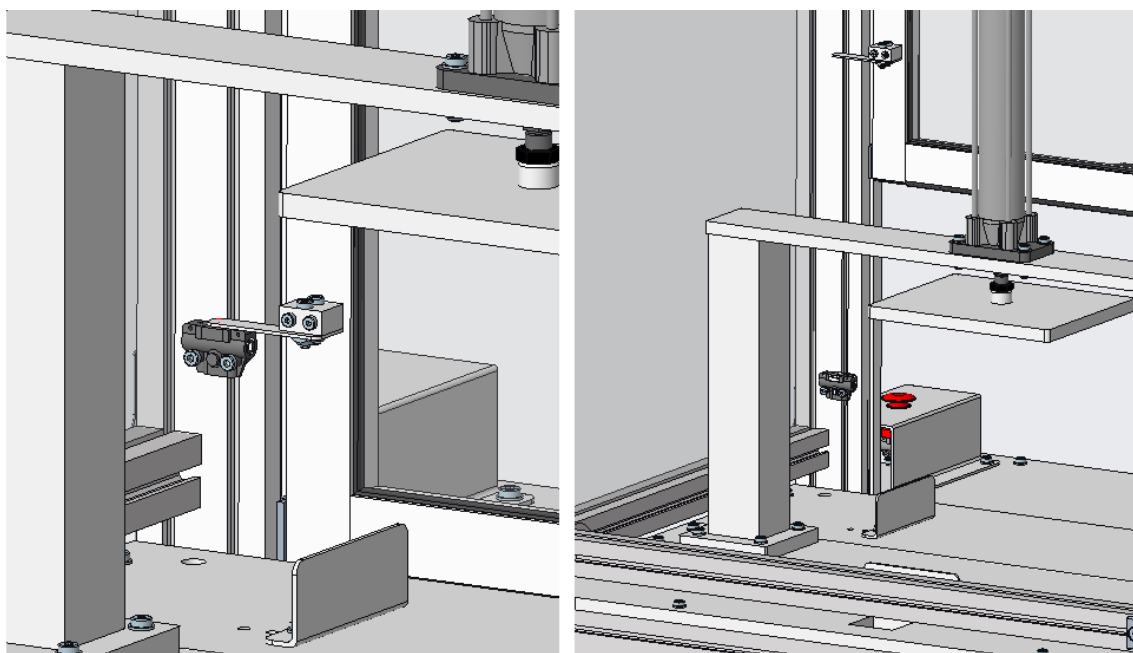


**Obr. 33** – Zvolený pneumatický ventil VM132-M5-00A [23]

Zvolený ventil disponuje připojovacími porty ze spodní strany. Vzhledem k jeho umístění se jedná o lepší řešení, než kdyby bylo zvoleno klasické připojení z boku. Okolo ventilu není dostatek prostoru a bylo by zbytečné se pokoušet vměstnat do omezeného prostoru šroubení včetně pneumatických hadic. Vlivem pohybujících se dvířek by navíc mohlo dojít k vytržení blíže připojené hadice. Spínání ventilu je umístěno ve výšce 140 mm nad pracovní deskou a to z důvodu bezpečnosti. Cílem je eliminovat možnost neúmyslnému sepnutí ventilu, které by mohlo nastat například položením slepeného sedáku v případě, kdyby byl ventil součástí pracovní desky. Na **obr. 34** je znázorněn spínací mechanismus bezpečnostního ventilu, který je přišroubován k otevíratelným dvířkům pomocí šroubů DIN 7984 M6x25. Na uvedeném obrázku je ventil v sepnutém stavu. Na **obr. 35** je pak znázorněno porovnání stavu ventilu a spínacího mechanismu při zavřených a plně otevřených dvířkách.



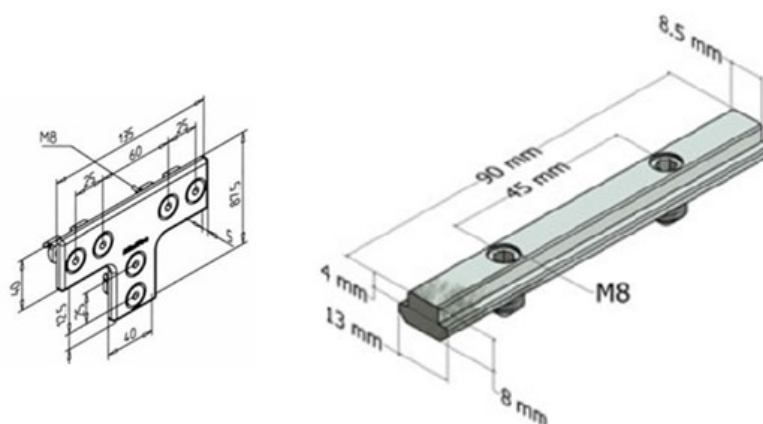
**Obr. 34** – Detailní pohled na ventil VM132-M5-00A v sepnutém stavu



**Obr. 35** – Porovnání stavu při zavřených a plně otevřených dvířkách



Sestavený ochranný kryt je široký 952 mm, hluboký 700 mm a vysoký 1205 mm. K pracovnímu stolu je přimontován pomocí dvou různých spojovacích prvků, viz **obr. 36**. Sestavená konstrukce ochranného krytu včetně bezpečnostních dvířek je patrná z **obr. 37**.



T Sheet VA

T – Slot Bar 90

**Obr. 36** – Spojovací prvky použité v rámci připevnění ochranné konstrukce [20]



**Obr. 37** – Ochranný kryt lepicího stroje

### 3.4 Sestavená konstrukce lepicího stroje

Hliníkové profily, spojovací prvky a další doplňky jednotlivých částí lepicího stroje jsem volil na základě internetových stránek společnosti MiniTec [21]. Odtud jsem stáhl 3D modely prvků a ty následně exportoval do prostředí softwaru PTC Creo Parametric 4.0, kde jsem také jednotlivé sestavy lepicího stroje skládal. Stejně jsem postupoval v případě pneumatických prvků. Ty jsem nejprve podle potřeby nakonfiguroval na internetových stránkách společnosti SMC [22], načež se vytvořil 3D model, který jsem po následném zaregistrování rovněž mohl stáhnout a poté otevřít v softwaru PTC Creo. Zbylé komponenty, jako je pracovní deska stolu včetně mechanických zářezů sedáku a krytů tlačítek, jsou navrženy na základě potřebných rozměrů. Co se týká úložné skříně, řada výrobců umožňuje vlastní konfiguraci základních rozměrů, tudíž i zde není problém s vlastním návrhem.

Výsledná konstrukce lepicího stroje je složená z následujících podsestav:

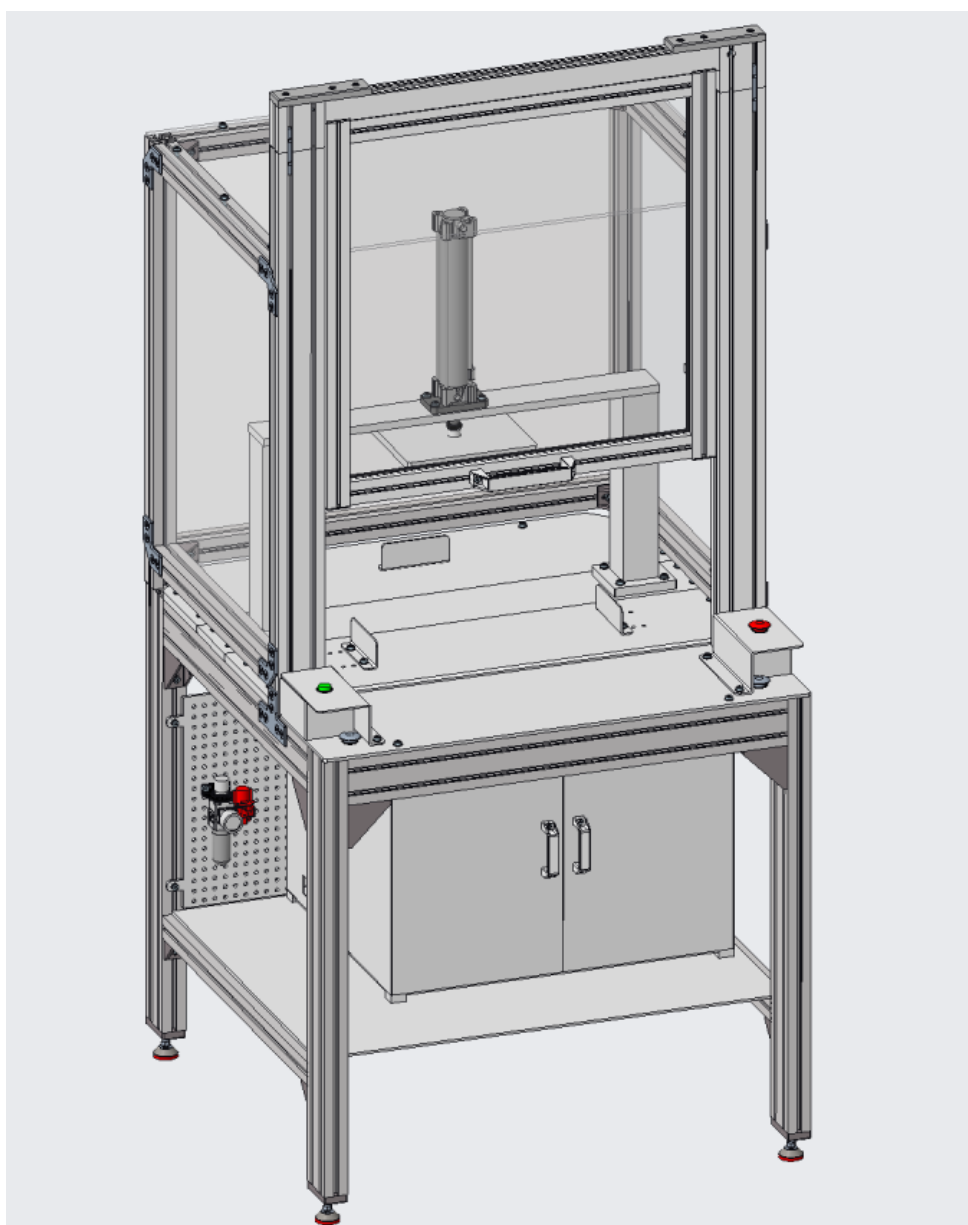
- pracovní stůl,
- ocelový rám pneumotoru,
- pneumatický motor C96KDF50-250C,
- ochranný kryt s dvířky.

Některé komponenty, jako jsou například pneumatické prvky včetně ovládacích tlačítek, jsou do konečné sestavy vkládány až nakonec, po smontování jednotlivých podsestav. Na úplný závěr jsou montovány ochranné kryty bezpečnostních tlačítek a ochranný kryt lepicího stroje včetně bezpečnostního ventilu VM132-M5-00A.

Z **obr. 38** je kromě pohledu na sestavenou konstrukci jednoúčelového lepicího stroje také patrné umístění filtr/regulátoru tlaku společně s ručně ovládaným 3/2 ventilem pro přívod stlačeného vzduchu. Dále je možno vidět provedení jednotlivých ručně ovládaných 3/2 ventilů pro řízení lepicího stroje – dále jen ovládacích tlačítek. Tlačítka dvouručního ovládání jsou zabezpečena ochrannými kryty. Tato tlačítka jsou vybavena aktivačním prvkem ve tvaru hříbu. U zbylých dvou ovládacích tlačítek hrozí při jejich aktivaci riziko záměny. Konstrukčně se totiž jedná o stejné prvky, a proto je vhodné je rozlišit jiným provedením spínacího prvku a také jeho barvou. Společnost SMC kromě základní varianty standardně nabízí zelené, červené, černé a žluté provedení aktivačního prvku. Pro resetovací tlačítko navrhuji použít klasické vystouplé provedení aktivačního prvku zelené barvy. Pro tlačítko nouzového zastavení volím na základě nařízení bezpečnostních směrnic

červené provedení aktivačního prvku v kombinaci s hříbovým tvarem. Kryty obou bezpečnostních tlačítek v tomto případě slouží k zamezení vniknutí rukou pracovníka do oblasti přívodu stlačeného vzduchu k těmto prvkům. Ostatní pneumatické prvky jsou umístěny v ocelové skříni.

Co se týká rozměrů sestaveného lepicího stroje, šířka činní 952 mm a hloubka 945 mm. Celková výška je dána součtem výšek pracovního stolu bez pracovní desky a ochranného krytu. Tato hodnota činí 2120,8 mm. Hmotnost celého zařízení je 242,6 kg. Po dohodě s vedoucím diplomové práce je přiložen pouze celkový sestavný výkres jednoúčelového lepicího stroje, viz **PŘÍLOHA A** – Konstrukce jednoúčelového lepicího stroje.



**Obr. 38** – Navržená konstrukce jednoúčelového lepicího stroje

## 4 Návrh pneumatického řízení lepicího stroje

Z konstrukčního návrhu je patrné, že jako primární způsob řízení jednoúčelového lepicího stroje volím čistě pneumatickou variantu. Pro správnou funkci navrhovaného stroje je zapotřebí specifikovat jednotlivé komponenty. Pro jejich volbu jsem využil internetových katalogů společnosti SMC, které jsou volně dostupné na jejich webových stránkách.

V rámci volby jednotlivých komponent vycházím jak ze zadání, tak ze zmíněných bezpečnostních požadavků. Konkrétní specifikace pak vychází z navrženého pneumatického obvodu.

Základem lepicího stroje je přímočarý pneumatický motor s jednostrannou pístnicí, který vytváří požadovanou přitlačnou sílu. Zjednodušeně se dá říci, že vykonává funkci pneumatického lisu. Kromě řídicích prvků je třeba také zvolit všechny pomocné prvky, díky kterým je zapojení kompletní. Těmito prvky jsou například hadice pro rozvod stlačeného vzduchu, nástrčné spojky, šroubení či tlumiče hluku.

### 4.1. Návrh pneumatického přímočarého pneumotoru

Na základě požadované přitlačné síly  $F = 1000 \text{ N}$  provedu návrh velikosti pneumotoru. Jedná se o sílu, kterou začne pneumatický motor vyvíjet v okamžiku dosažení koncové polohy, tedy při dosažení statického stavu. S ohledem na dostatek prostoru k manipulaci s lepeným předmětem volím zdvih válce  $H = 250 \text{ mm}$ . Ze vzorce pro výpočet tlaku odvodím vztah určující průměr pístu  $D$ . Pracovní tlak v systému volím  $p_1 = 0,6 \text{ MPa}$ .

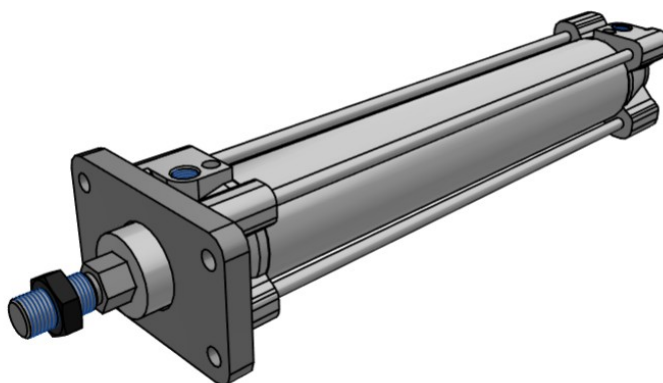
Vzhledem k pasivnímu odporu, který vzniká třením v těsnění během pohybu pístu, se obvykle vzorec doplňuje koeficientem  $k'$ , kde  $k' = 1,1 \div 1,3$  [3]. Vzhledem k tomu, že přitlačná síla  $F$  je požadována až v koncové poloze vysouvání, nedochází již tak k žádnému odporu proti pohybu a proto volím  $k' = 1,1$ .

$$p_1 = \frac{F}{S} \quad (3)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot k' \cdot F}{\pi \cdot p_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,1 \cdot 1000}{\pi \cdot 0,6 \cdot 10^6}} = 0,0483 \text{ m} = 48,3 \text{ mm}$$

Volím nejbližší vyšší průměr pístu  $D$ :  $D = 50 \text{ mm}$

Volím dvojčinný přímočarý pneumatický motor **C96KDF50 – 250C** od společnosti SMC podléhající normě ISO 15552. Jedná se o pneumatický motor svorníkové konstrukce s nekruhovou pístnicí. Díky tomu je pístnice zajištěna proti pootočení. Pneumotor disponuje tlumením koncových poloh a je vybaven vestavěným magnetem [17]. Ke svorníku je možné upnout magneticky ovládané snímače koncových poloh FB-PNEUM-ENDSWITCH, a to pomocí držáků s označením C96-ACC-OBX02098. Zmíněné držáky jsou nabízeným příslušenstvím k zvolenému typu pneumatického motoru.



**Obr. 39** – Pneumatický motor C96KDF50 – 250C [17]

Jedná se o standardní typ pneumatického válce se svorníky, kde tělo pneumotoru je vyrobeno z hliníkové slitiny a pístní tyč z karbonové oceli. Zbylé části pneumotoru jsou vyrobeny z klasické oceli a těsnící prvky pak z NBR pryže.

**Tab. 1** – Konfigurace a základní specifikace zvoleného pneumotoru

vestavěný magnet:	D (vestavěný magnet)
montáž:	F (příruba vpředu)
průměr pístu:	50 mm
zdvih:	250 mm
pístnice:	jednostranná
geometrický tvar pístnice:	šestihranná
vnější závit pístní tyče:	M16 x 1,5

**Tab. 2** – Teoretická síla válce při 0,6 MPa (zdvih – OUT a návrat – IN) [17]

Bore size [mm]	Rod size [mm]	Operating direction	Piston area [mm <sup>2</sup> ]	Operating pressure [MPa]									
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	[N]
50	20	OUT	1963	393	589	785	982	1178	1374	1570	1767	1963	
		IN	1649	330	495	660	825	989	1154	1319	1484	1649	



**Tab. 4** – Prvky ovlivňující propustnost obvodu

POŘADOVÉ ČÍSLO	TYP PRVKU	OZNAČENÍ
1	3/2 ventil pro přívod stlačeného vzduchu	VSH20-F02B-S-X1
2	filtr/regulátor	AW20-F02BCG-B
3	3/2 ventil vzduchem ovládaný	SYJA712-01F
4	5/2 ventil vzduchem ovládaný	SYJA7120-01F
5	vzduchem ovládaný zpětný ventil se škrticím a zpětným ventilem	ASP430F-F02-08S
	pneumatická hadice	TH 0806 BU
	připojovací šroubení 1	G 1/4
	připojovací šroubení 2	G 1/8

Z uvedené tabulky je zřejmé, jaké prvky budou ve výpočtu zahrnuty. Pro výpočet propustnosti je však třeba dále znát hodnotu normálního jmenovitého průtoku  $Q_{Nn}$  u každého z prvků. V **tab. 5** proto uvádím hodnoty normálního jmenovitého průtoků u všech zmíněných prvků. Co se týká pneumatické hadice a připojovacích šroubení, zde jsem hodnoty odečetl z příslušného grafu a tabulky uvedených ve skriptech pneumatických mechanismů na str. 218, Pneumatické mechanismy, díl 1. [3]. Hodnoty zbylých prvků jsou uvedeny v příslušných katalogích od společnosti SMC [22].

Společnost SMC často uvádí hodnotu normálního jmenovitého průtoku pomocí průtokového součinitele  $C_v$ . Z tohoto součinitele dostaneme hodnotu normálního jmenovitého průtoků  $Q_{Nn}$  pouhým vynásobením číslem 981,5 [4].

**Tab. 5** – Hodnoty normálního jmenovitého průtoku  $Q_{Nn}$  zvolených prvků

OZNAČENÍ PRVKU	$Q_{Nn}$ [ $l_N \cdot \min^{-1}$ ]	POČET KUSŮ
TH 0806 BU	1500	3 (3 x 0,7 m)
G 1/4	2100	2
G 1/8	940	4
VSH20-F02B-S-X1	863,7	1
AW20-F02BCG-B	800	1
SYJA712-01F	755,8	1
SYJA7120-01F	582	1
ASP430F-F02-08S	350	1

#### 4.2.1 Výpočet průtokové propustnosti obvodu

Základním předpokladem vyhovujícího návrhu je, že systém musí propustit minimálně takové množství stlačeného vzduchu, jaké motor požaduje k vykonávání pohybů při daných parametrech. K ověření správného návrhu musí být tedy splněna následující podmínka:

$$Q_{NEKV} \geq Q_{MN} \quad (4)$$

kde  $Q_{MN}$  představuje potřebný průtok stlačeného vzduchu přepočtený na normální podmínky a  $Q_{NEKV}$  představuje ekvivalentní průtok za normálních podmínek.

Potřebný průtok stlačeného vzduchu  $Q_{MN}$  lze vypočítat z následující rovnice:

$$Q_{MN} = S \cdot v \cdot \frac{p_{abs}}{p_N} \quad (5)$$

$$Q_{MN} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v \cdot \frac{p_1 + p_N}{p_N}$$

$$Q_{MN} = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \cdot 0,25 \cdot \frac{0,6 + 0,1}{0,1} = 206,16 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ (ANR)}$$

kde:  $S$  je plocha pístu válce [ $\text{mm}^2$ ]

$v$  je rychlost vysouvání pístnice [ $\text{m/s}$ ]

$p_{abs}$  je absolutní hodnota tlaku [ $\text{MPa}$ ]

$p_N$  je jmenovitý tlak [ $\text{MPa}$ ]

pozn.: rychlost vysouvání pístnice odpovídá zdvihu  $H$  za čas  $t$ ,  $t = 1 \text{ s}$

Nyní je třeba určit hodnotu ekvivalentního průtoku  $Q_{NEKV}$ . Vzhledem k tomu, že jsou všechny prvky mezi zdrojem a pneumotorem řazeny do série, použijí pro výpočet ekvivalentního průtoku následující vzorec:

$$Q_{NEKV} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Q_{Ni}^2}}} \quad (6)$$

$$Q_{NEKV} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{863,7^2} + \frac{1}{800^2} + \frac{1}{755,8^2} + \frac{1}{582^2} + \frac{1}{350^2} + \frac{3}{1500^2} + \frac{2}{2100^2} + \frac{4}{940^2}}} \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ (ANR)}$$

$$Q_{NEKV} = 212,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ (ANR)}$$

V rámci uvedeného výpočtu je také zahrnut počet jednotlivých úseku zvolené hadice. Hodnotu normálního jmenovitého průtoku  $Q_{Nn}$  jsem u zvoleného průměru hadice odečetl pro jeden úsek o délce 0,7 m. Proto se ve výše uvedeném vzorci objevuje hodnota 3, jež představuje tři samostatné úseky  $l_1, l_2$  a  $l_3$  o délce 0,7 metr. Dále jsou zahrnuta jednotlivá šroubení s ohledem na jejich typ a počet. Šroubení se závitem o velikosti  $1/4''$ , což odpovídá světlosti přibližně 6 mm, se nachází na vstupu do filtr/regulátoru tlaku a také na výstupu z ručně ovládaného  $3/2$  ventilu přivádějícího stlačený vzduch do systému. Zbývá čtyři šroubení mají velikost závitu  $1/8''$ , což odpovídá světlosti přibližně 4 mm.



První šroubení je tedy umístěné na vstupu do filtr/regulátoru, druhé pak na výstupu z ručně ovládaného 3/2 ventilu. Tyto prvky jsou propojeny pomocí propojovací desky, proto mezi nimi není třeba žádného šroubení. Propojovací deska propustnost nijak neovlivní. Třetí šroubení se nachází na vstupu do vzduchem ovládaného 3/2 ventilu, čtvrté pak na jeho výstupu. Páté šroubení se nachází na vstupu do vzduchem ovládaného 5/2 ventilu a poslední šesté na výstupu z něj. Co se týká posledního prvku před pneumotorem, tedy ventilu ASP430F-F02-08S, zde je šroubení již součástí ventilu. Hodnota normálního jmenovitého průtoku je tak v katalogu uváděna včetně šroubení.

V rámci výsledné kontroly stačí překontrolovat výše uvedenou podmínku. Zajímá nás, zda je propustnost obvodu větší nebo rovna požadovanému průtoku.

$$Q_{NEKV} \geq Q_{MN} \quad (7)$$

$$212,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \geq 206,16 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \Rightarrow \text{VYHOVUJE!}$$

### 4.3 Návrh pneumatického obvodu

S ohledem na všechny uvedené poznatky mohu přistoupit k samotnému návrhu pneumatického obvodu. V rámci návrhu pneumatického řízení jsem vytvořil dvě samostatné varianty. U první varianty jsou k pneumotoru upnuty dva magneticky ovládané ventily FB-PNEUM-ENDSWITCH [26] pro snímání obou koncových poloh. V rámci druhé varianty, jež považuji za možnou alternativu, navrhuji snímání zasunuté koncové polohy stejně jako u první varianty, ovšem vysunutá koncová poloha bude snímána dosažením požadovaného tlaku. K tomuto účelu slouží ventil EIL220-F02 [27], na kterém lze pomocí stavěcího šroubu nastavit hodnotu požadovaného tlaku, při jehož dosažení dojde k přestavení ventilu a stlačený vzduch tak může projít skrze něj.

Pneumatické schéma obvodu první varianty je vzhledem k jeho velikosti pouze součástí přiloženého výkresu, viz **PŘÍLOHA B** – Pneumatické schéma, varianta č. 1. Vzhledem k rozsáhlému počtu prvků jsou jednotlivé prvky zmíněny v přiložené dokumentaci. Jednotlivé pozice ve výkresu jsou uvedeny v **PŘÍLOZE C** – Part list, varianta č. 1. Celkový přehled jednotlivých prvků s ohledem na jejich počet je uvedený v přiloženém kusovníku, viz **PŘÍLOHA D** – Kusovník, varianta č. 1.

Navržené provedení druhé varianty je rovněž patrné z příloženého výkresu, viz **PŘÍLOHA E** – Pneumatické schéma, varianta č. 2. Jednotlivé pozice v rámci výkresu jsou uvedeny v **PŘÍLOZE F** – Part list, varianta č. 2. Celkový přehled jednotlivých prvků s ohledem na jejich počet je uveden v příloženém kusovníku, viz **PŘÍLOHA G** – Kusovník, varianta č. 2.

V kapitole 2.4 jsem již uvedl jednotlivá bezpečnostní řešení, která jsou aplikována v rámci obou navržených variant stejně. Stlačený vzduch je do systému přiváděn přes filtr/regulátor tlaku AW20-F02CEH-2-B s filtrační schopností 5 µm, což je dostatečná hodnota filtrace vůči všem zvoleným prvkům. Přívod vzduchu je možné řídit pomocí uzavíracího ventilu VHS20-F02B. Stlačený vzduch dále postupuje k pneumotoru přes dva pneumaticky řízené monostabilní rozváděče, nejprve přes 3/2 rozváděč SYJA712-01F a poté přes 5/2 rozváděč SYJA7120-01F. Oba rozváděče jsou řízeny na základě aktuálních stavů jednotlivých ovládacích ventilů. Vliv na jejich aktuální polohu mají ventily uvedené v následující tabulce, viz **tab. 6**.

**Tab. 6** – Prvky ovlivňující možnost přívodu stlačeného vzduchu k pneumotoru

Pořadí	PRVEK	OZNAČENÍ	FUNKCE V RÁMCI NÁVRHU
1	ručně ovládané 3/2 ventily tlačítky	VM230-F02-30BA	tlačítka dvouručního ovládání
2	ručně ovládaný 3/2 ventil tlačítkem	VM230-F02-30RA	tlačítko E-STOP
3	ručně ovládaný 3/2 ventil tlačítkem	VM230-F02-30GA	tlačítko RESET
4	mechanicky ovládaný 3/2 ventil	VM132-M5-00A	bezpečnostní ventil snímající dvířka ochranného krytu
5	magneticky ovládaný 3/2 ventil	FB-PNEUM-ENDSWITCH	snímač koncové polohy
6	pneumaticky ovládaný 3/2 ventil	EIL220-F02	snímač koncové polohy

Mezi zmíněnými ventily není uveden uzavírací ventil VSH20-F02B, jelikož v průběhu pracovního cyklu obsluha lepicího stroje s tímto ventilem nemanipuluje. Zařízení je však navrženo tak, aby v případě výpadku dodávky stlačeného vzduchu došlo k jeho odvdoušnění. Pístnice pneumotoru zůstane v poloze, ve které se nacházela v době výpadku, dokud nedojde k opětovnému přivedení stlačeného vzduchu a následné aktivaci resetovacího tlačítka v podobě ventilu VM230-F02-30GA. Poté se pístnice vrátí do výchozí polohy.

Popis funkcí jednotlivých tlačítek v podobě ručně ovládaných 3/2 rozváděčů a mechanicky spínaného bezpečnostního snímače ochranných dvířek je podrobně popsán již v kapitole 2.4. V rámci komplexního přehledu následuje popis funkce celého pneumatického obvodu a to obecně, pro obě navržené varianty.

Tlačítka dvouručního ovládaní realizována ventily VM230-F02-30BA jsou připojena k bloku dvouručního ovládaní v podobě ventilu VR51-C06, díky kterému je zajištěno bezpečné spouštění stroje. Funkce toho bloku je popsána v kapitole **2.4.2**.

Lepicí stroj je možné spustit pouze v případě zavřených dvířek ochranného krytu, kdy je spínač ventilu v sepnutém stavu. V případě, že dojde k otevření během zahájení vysouvání, dojde k navracení pístnice pneumotoru do výchozího stavu. V případě, že je pístnice již ve vysunuté poloze a zároveň jsou otevřená dvířka, nedojde při současném stisknutí obou tlačítek k žádnému úkonu, dokud se dvířka nezavřou.

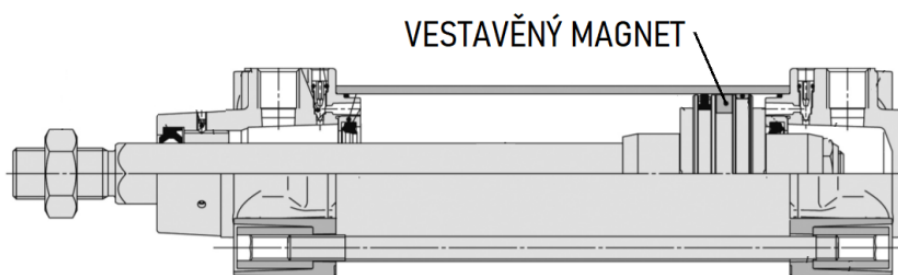
Doba vysouvání pístnice činní 1 s, což při velikosti zdvihu 250 mm odpovídá rychlosti vysouvání 0,25 m/s. Jakmile je dosaženo vysunuté koncové polohy, dojde k přestavení polohy koncového snímače a je tedy možné obě ovládací tlačítka pustit. V tomto okamžiku začíná třicetisekundový interval potřebný k slepení sedáku, které je realizováno působením přitlačné síly 1000 N od pneumotoru. Tento interval je nastaven na ventilu VR2110-F01, jenž plní funkci časového zpoždovače. Dříve tak není možné spustit zasouvání pístnice. V případě vzniku nebezpečné situace lze uvolnit lepený sedák pomocí resetovacího tlačítka, které vykonává funkci nouzového uvolnění. Pístnice tak po jeho aktivaci zajede do zasunuté polohy. Pro ostatní nebezpečné situace je zařízení vybaveno tlačítkem v podobě ventilu VM230-F02-30RA. Zvolený ventil vykonává funkci tlačítka pro nouzové zastavení stroje, tzv. E-STOP. V případě jeho aktivace zůstane pístnice v poloze, ve které se nacházela během stisknutí tohoto tlačítka. Pro návrat do základní polohy je rovněž třeba použít resetovací tlačítko.

Je-li slepení sedáku úspěšně dokončeno, je možné pomocí opětovného stisknutí tlačítek dvouručního ovládaní zasunout pístnici. Pro její zasunutí stačí pouhý impuls, není třeba držet sepnutá obě tlačítka až do doby dosažení koncové polohy. Po jejím dosažení může obsluha otevřít ochranná dvířka, vyjmout slepený sedák a vložit další sedák určený ke slepení. Po uzavření dvířek se celý proces může opakovat. Pro opětovné spuštění stroje není třeba aktivovat resetovací tlačítko. To je nutné aktivovat pouze v případě prvotního spuštění stroje po přivedení stlačeného vzduchu do systému.

Jak již bylo řečeno v úvodu této kapitoly, rozdíl mezi navrženými variantami pneumatického řízení je ve snímání koncových poloh. Princip funkce jednotlivých snímačů včetně jejich připojení je uveden v rámci následujících podkapitol popisujících jednotlivé varianty.

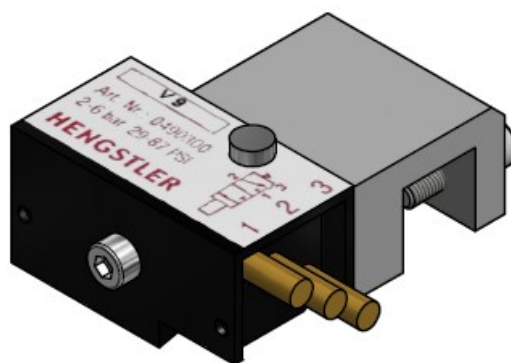
#### 4.3.1 Varianta č. 1

V rámci první varianty pneumatického řízení navrhuji použití magneticky ovládaných snímačů pro obě koncové polohy. Součástí zvoleného pneumatického motoru C96KDF50 – 250C je vestavěný magnet, který je umístěn na pístu pneumotoru, jak je patrné z uvedeného **obr. 41**. V okamžiku, kdy magnet vlivem pohybu pístnice dojde do koncové polohy, dojde k přestavení jednoho z koncových snímačů v podobě ventilů FB-PNEUM-ENDSWITCH, které jsou upnuty přímo na svorník pneumotoru pomocí držáku C96-ACC-OBX02098.



**Obr. 41** – Umístění vestavěného magnetu pneumotoru [17]

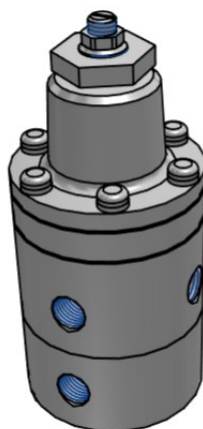
Provedení držáku C96-ACC-OBX02098, ke kterému je upevněn magneticky ovládaný snímač FB-PNEUM-ENDSWITCH, je patrné z **obr. 42**. Podrobná specifikace magneticky ovládaného ventilu je popsána v katalogu německého výrobce Hengstler GmbH [26]. V rámci konfigurace prvku volím velikost nástrčné spojky pro vnější průměr hadice 4 mm.



**Obr. 42** – Přichycení magnetického snímače FB-PNEUM-ENDSWITCH k držáku C96-ACC-OBX02098 [7]

#### 4.3.2 Varianta č. 2

U druhé varianty je snímána vysunutá poloha pomocí tlakem řízeného ventilu EIL220-F02. Rozdíl mezi jednotlivými variantami je tak v principu snímání vysunuté koncové polohy pístnice. Zatímco u magneticky ovládaného koncového snímače dochází k přestavení polohy magnetem, v případě použití tlakem řízeného ventilu je třeba přivést pro jeho přestavení řídicí tlak. Řídicí tlak je nutné připojit do tlakové větve těsně před pneumotorem, tedy ze strany plné plochy pístu. V okamžiku, kdy dojde k přitlačení lepeného sedáku požadovanou silou, vznikne potřebný tlak, který odpovídá hodnotě tlaku definovanému na zvoleném ventilu EIL220-F02. Po dosažení tohoto tlaku tak dojde k přestavení polohy ventilu. Provedení ventilu je patrné z **obr. 43**. V rámci aplikace je ventil rovněž vybaven nástrčnými spojkami pro hadici o průměru 4 mm.



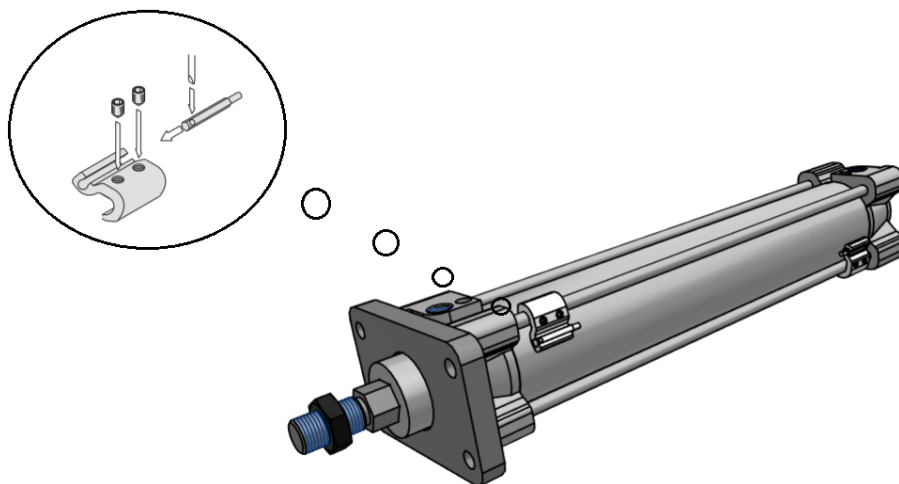
**Obr. 43** – Ventil EIL220-F02 [27]

Snímání zasunuté koncové polohy zůstává stejné, jako u předchozí varianty. Zatímco magneticky ovládaný snímač je připevněný přímo na svorník pneumotoru skrze reakční vzdálenost vestavěného magnetu, pneumaticky ovládaný ventil pro snímání vysunuté polohy je umístěn mimo pneumotor.

## 5 Návrh elektro-pneumatického řízení lepicího stroje

Možnou alternativou v řízení jednoúčelového lepicího stroje je použití programovatelného automatu. Elektro-pneumatické řízení programovatelným automatem nese některé výhody oproti čistě pneumatické variantě řízení. Zatímco pneumatická varianta řízení je poměrně složitá z hlediska počtu prvků a jejich zapojení, elektro-pneumatická varianta je díky jejich menšímu množství přehlednější a zabírá tak i menší zástavný prostor. V případě změny v řízení může být složitější přepojit pneumatický obvod, než přeprogramovat řídicí program. Rovněž v případě poruchy některého z pneumatických prvků může být v rámci pneumatického návrhu složitější odhalit příčinu problému.

Co se týká jednotlivých prvků v rámci přívodní větve stlačeného vzduchu k pneumotoru, rozdíl bude ve volbě hlavních rozváděčů a také ve snímání koncových poloh pístnice pneumotoru. V rámci návrhu volím elektromagneticky nepřímou ovládaný 3/2 ventil SYJ712-5GZ-01F-Q a elektromagneticky nepřímou ovládaný 5/2 ventil VQC4100-5. Zvolené ventily mají dostatečnou průtokovou propustnost. Podrobná specifikace jednotlivých ventilů je uvedena na internetových stránkách společnosti SMC, viz [29] a [30]. Pro snímání dosažených koncových poloh volím elektronické snímače polohy D-M9BM, jež společnost SMC nabízí v rámci konfigurace zvoleného pneumotoru. Zvolené provedení pneumotoru s použitím výše uvedených snímačů má označení C96KDF50-250C-M9BM. Snímače jsou umístěny přímo na pneumotoru, jak je patrné z následujícího obrázku, viz **obr. 44**. Parametry zvoleného snímače jsou znázorněny v tabulce, viz **tab. 7**.



**Obr. 44** – Provedení pneumotoru s použitím snímačů D-M9BM [28]

**Tab. 7** – Technické údaje snímače D-M9BM [31]

provedení	M9B (2 vodiče)
délka kabelu	M (1m)
V souladu s evropskou směrnicí RoHS	V souladu
Certifikáty	CE
Electrical entry direction	v ose
Applicable load	24 VDC relay, PLC
Load voltage	24 VDC (10 to 28 VDC)
Load current	2.5 to 40 mA
Internal voltage drop	4 V or less
Wiring type	2-wire
Leakage current	0.8 mA or less
Weight	0.013 Kg

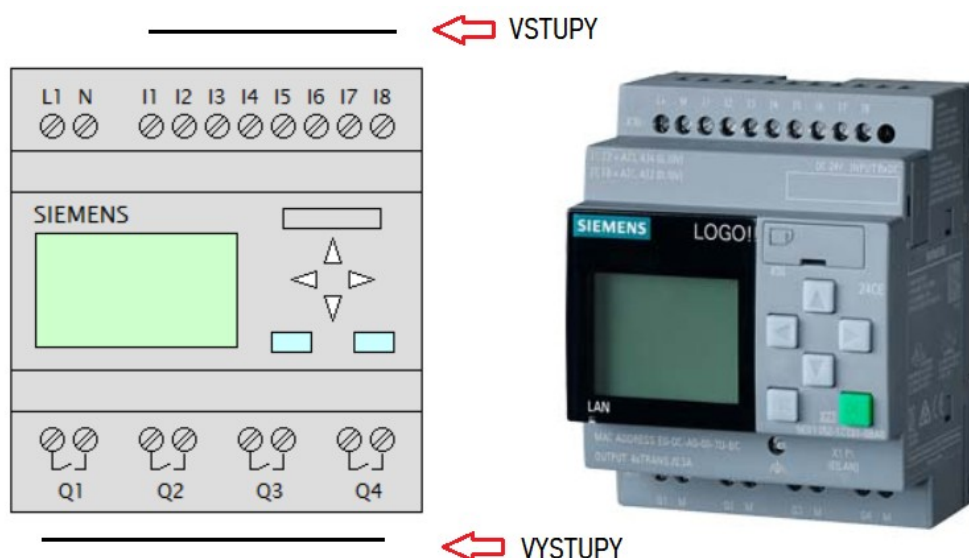
## 5.1 PLC Siemens LOGO!

V rámci návrhu volím k řízení elektromagneticky nepřímě ovládaných ventilů programovatelný automat Siemens LOGO! s výrobním označením 6ED1052-1CC08-0BA0 [33]. Programovatelný automat, přesněji programovatelný logický automat z anglické zkratky PLC, je zařízení, které v rámci jednoho modulu spojuje celou řadu funkcí, mezi které patří například spínací, logické či časové funkce.

Pro navrženou aplikaci je dostatečný základní modul, který disponuje 8 vstupy a 4 výstupy. Jednotlivé vstupy jsou značeny pomocí písmene I a výstupy pak pomocí písmene Q, čemuž odpovídá i značení v rámci elektro-pneumatického schématu. Celkem je k řízení lepicího stroje potřeba 7 vstupů a 2 výstupy. Na vstup jsou připojeny spínací prvky uvedené v následující tabulce, viz **tab. 8**. Výstupy pak představují počet elektromagnetů, které jsou programovatelným automatem řízeny. Po přivedení elektrického signálu z PLC na elektromagnety dojde k přestavení ventilů v závislosti na řídicím programu. Zvolené provedení PLC Siemens LOGO! je patrné z **obr. 45**.

**Tab. 8** – Prvky připojené na vstup do PLC Siemens LOGO!

<b>1</b>	snímač zasunuté polohy pístnice
<b>2</b>	snímač vysunuté polohy pístnice
<b>3</b>	tlačítko E-STOP
<b>4</b>	tlačítko RESET
<b>5</b>	tlačítko dvouručního ovládání T1
<b>6</b>	tlačítko dvouručního ovládání T2
<b>7</b>	spínač dvířek ochranného krytu



**Obr. 45** – Zvolené provedení základního modulu PLC Siemens LOGO! [32] [33]

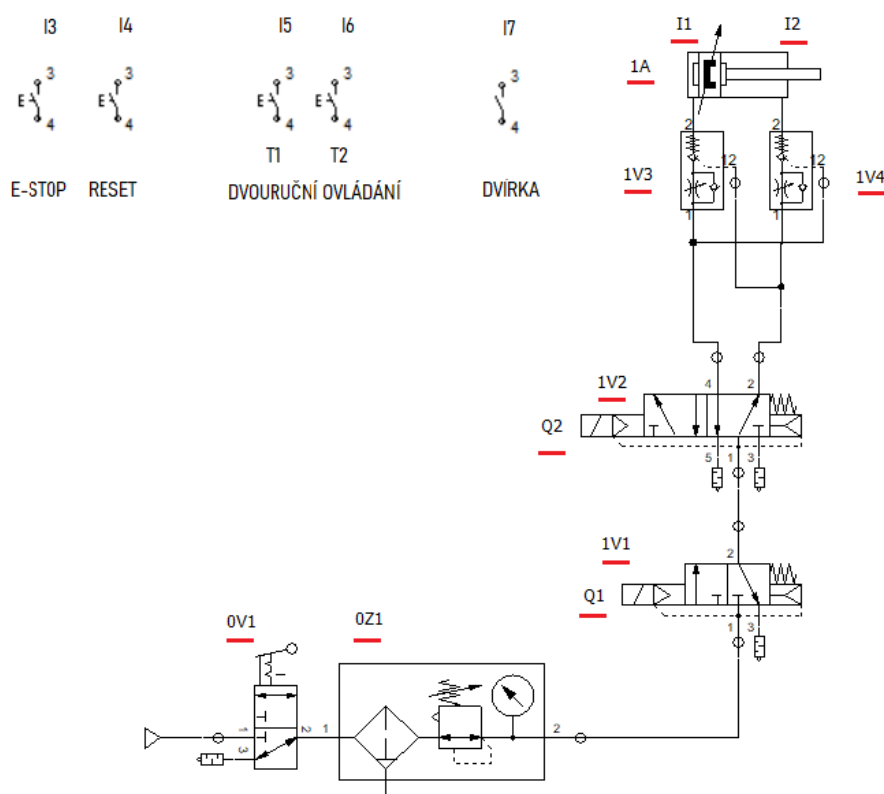
Každá konkrétní aplikace vyžaduje vytvoření vlastního řídicího programu. Programy jednoduchých obvodů je možné naprogramovat přímo na základním modulu prostřednictvím vestavěné klávesnice a displeje. Přímě na PLC je také možné provádět jednoduché úpravy již vytvořených programů. Složitější obvody je třeba naprogramovat na PC a poté exportovat hotový program do PLC. K tomuto účelu slouží software LOGO! Soft Comfort.

Předností softwaru LOGO! Soft Comfort je rychlé a snadné vytváření řídicích obvodových programů. Software také umožňuje navržené programy simulovat a upravovat dle potřeby dříve, než budou přeneseny do PLC. Celkem si uživatel může vybrat ze tří možností, kterými lze program obvodu vytvořit. Mezi základní dvě možnosti patří programování pomocí kontaktního schématu - Ladder diagram (LAD) nebo pomocí diagramu funkčních bloků - Function block diagram (FBD). Třetí individuální možností je programování na základě uživatelem definované funkce – User defined function (UDF). Podrobněji jsou jednotlivé metody popsány v uživatelské příručce, která je volně dostupná na internetových stránkách výrobce [34].



## 5.2 Návrh elektro-pneumatického obvodu

Navržené elektro-pneumatické schéma lepicího stroje je jednodušší než pneumatické schéma, co se týče počtu jednotlivých prvků. Díky programovatelnému automatu odpadá nutnost použití bloku dvouručního ovládání i pneumatického zpožďovače signálu. Funkce bezpečnostního bloku i ventilu s časovým zpožděním jsou naprogramovány v řídicím programu. Z původního pneumatického obvodu tak zůstala v rámci návrhu pouze přívodní větev stlačeného vzduchu k pneumotoru, jak je i patrné z vytvořeného schématu na **obr. 46**. Značení jednotlivých prvků obvodu je uvedeno v přiložené tabulce, viz **tab. 9**.



**Obr. 46** – Elektro-pneumatické schéma

**Tab. 9** – Značení jednotlivých prvků v rámci schématu

<b>0V1</b>	ručně ovládaný 3/2 rozváděč s aretací
<b>0Z1</b>	jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu
<b>1V1</b>	elektromagneticky nepřímo ovládaný 3/2 ventil
<b>1V2</b>	elektromagneticky nepřímo ovládaný 5/2 ventil
<b>1V3</b>	vzduchem ovládaný zpětný ventil se škrticím a zpětným ventilem
<b>1V4</b>	vzduchem ovládaný zpětný ventil se škrticím a zpětným ventilem
<b>1A</b>	dvojčinný přímočarý pneumatický motor s jednostrannou pístnicí
<b>Q1 - Q2</b>	elektromagnety
<b>I1 - I2</b>	dvouvodičové magnetické senzory snímající koncové polohy pístnice, bezdotykové, elektronické
<b>I3 - I6</b>	elektrické kontakty ovládané tlačítkem
<b>I7</b>	zapínací elektrický kontakt

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout jednoúčelový lepicí stroj, jehož úkolem je slepit dvě samostatné části sedáku kancelářské židle. V úvodu práce je stručně popsána problematika výroby židlí a židlových sedáků, se zaměřením na použití pneumatických lisů při jejich výrobě.

V další části práce jsou specifikovány bezpečnostní požadavky na návrh a provoz strojních zařízení, včetně implementace na konkrétní zadání. Jsou zde specifikovány jednotlivé bezpečnostní a ovládací prvky, které jsou v rámci návrhu použity.

Následující kapitola se věnuje konstrukčnímu návrhu lepicího stroje. Předpokladem pro jeho vznik bylo použití pneumatického způsobu řízení stroje, který je v rámci práce řešen jako primární. Konstrukční návrh je patrný ze sestavného výkresu, který je součástí příloh.

V rámci návrhu řízení lepicího stroje jsou zohledněny všechny požadavky vyplývající ze zadání diplomové práce. Pro správnou funkci lepicího stroje byl nejprve zvolen vhodný pneumotor a poté všechny prvky, které se podílí na přívodu stlačeného vzduchu k pneumotoru. Jejich volba byla ověřena na základě výpočtu propustnosti obvodu. Zbylé prvky jsou otázkou konkrétního návrhu.

V průběhu práce jsou tak vypracovány dva samostatné způsoby řízení, kdy je nejprve navržen pneumatický způsob. V rámci něj jsem vytvořil dvě samostatné varianty, které se liší na základě snímání vysunutí pístnice. Výkresy jednotlivých variant jsou rovněž součástí příloh. Pro obě varianty samostatně je také přiložena dokumentace v podobě pozičního rozpisu jednotlivých prvků a kusovníku, který udává celkový přehled o jednotlivých prvcích včetně jejich počtu.

V závěru práce je naznačen alternativní způsob řízení pomocí programovatelného automatu Siemens LOGO!. Tento způsob řízení je zmíněn pouze rámcově, jelikož v průběhu práce byl pro realizaci lepicího stroje zvolen pneumatický způsob řízení, který je vypracován detailně.

Co se týká volby konkrétního způsobu řízení v praxi, podíl na rozhodování má umístění lepicího stroje v závislosti na prostředí a jeho vybavenosti, ale také je to otázka spolehlivosti a ceny jednotlivých prvků. I přes mnohé výhody elektro-pneumatického řízení programovatelným automatem Siemens LOGO! upřednostňuji v rámci návrhu

pneumatický způsob řízení. Použití pneumatické varianty nevyžaduje připojení stroje ke zdroji elektrické energie, díky čemuž není třeba řešit požadavky na bezpečnost elektrických zařízení, které je vázáno normami a směrnici týkajícími se projektování a provozu elektrických zařízení. Další předností pneumatického řízení je jednoduchost ovládání a snadná údržba. Z tohoto důvodu je tento způsob řízení zákazníky často preferován. Elektro-pneumatická varianta vyžaduje mít pro zapojení a údržbu navíc kvalifikované pracovníky s odbornou způsobilostí dle vyhlášky 50/1978 Sb. Použití pneumatického řízení je také vhodnější v prostředí, kde hrozí riziko spojené s nebezpečím výbuchu. V případě, kdy se v rámci provozu nachází rozvod stlačeného vzduchu, je připojení k rozvodné síti levnější variantou, než budování elektrických rozvodů pro instalaci zařízení.

Co se týká pořizovacích nákladů, cena jednotlivých prvků v rámci elektro-pneumatického řízení bude nižší, než u pneumatické varianty. Pořizovací cena PLC siemens LOGO! je méně než poloviční oproti bloku dvouručního ovládání a pneumatickému zpozdovači signálu dohromady. Do nákladů musíme ale připočítat náklady v podobě softwaru, komunikačního rozhraní a sběrnice, což není u pneumatického řízení potřeba.

## Seznam použité literatury

- [1] Rockwell Automation Inc.: *Bezpečnostní řídicí systémy pro strojní zařízení: Strojní vybavení – safebook 5*. Praha: Rockwell Automation Inc., 2016. 146 s.
- [2] ABB s.r.o.: *Průručka bezpečnosti: Bezpečnost strojů – Jokab Safety*, rev. C. Brno: ABB s.r.o., 2012. 408 s.
- [3] KOPÁČEK, J.: *Pneumatické mechanismy, díl 1. - Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996. 265 s. ISBN 80-7078-306-0.
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ: *SMC Training - Stlačený vzduch a jeho využití*. BRNO: SMC Industrial Automation CZ s.r.o., 3. vydání. 344 s.
- [5] CAMOZZI COMPETENCE CENTRE: *Pneumatic Automation From Basic Principles to Practical Techniques.*, Brescia: Camozzi Automation S.p.A., 2019, 215 p.
- [6] BEATER, P.: *Pneumatic drives: systém design, modelling and kontrol*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
- [7] PNEUSWITCH HOLDER ASSEMBLY: *C96-ACC-0BX02098* [2:1]. 2019. SMC, SMC CEE GROUP CZECH REPUBLIC, BRNO.

## Internetové zdroje

- [8] ELAN INTERIOR: *KRÁTKÁ HISTORIE KANCELÁŘSKÉ ŽIDLE*. [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://1url.cz/Ezewc>
- [9] IKEA a.s.: *Koncept IKEA* [online]. 2019 [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: [https://www.ikea.com/ms/cs\\_CZ/this-is-ikea/the-ikea-concept/index.html](https://www.ikea.com/ms/cs_CZ/this-is-ikea/the-ikea-concept/index.html)
- [10] TON a.s. [online]. [cit. 2019-11-05]. Dostupné z: <https://www.ton.eu/cz/ton/>
- [11] TON a.s.: *Překližky*. [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.ton.eu/cz/preklizky/>
- [12] REXELPOLAND: *PNEUMATICKÝ LIS PRO ČALOUNĚNÍ SEDADEL PDP-I*. [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://1url.cz/dzew9>

- [13] Kancelar24h: *Pracovní židle* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: [https://www.kancelar24h.cz/kancelarske-zidle-alex-bez-podrucek-p226\\_478.html](https://www.kancelar24h.cz/kancelarske-zidle-alex-bez-podrucek-p226_478.html)
- [14] Technické normy: *Zákony, Vyhlášky a Technické normy* [online]. [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://1url.cz/Yzew6>
- [15] HW server s.r.o.: *Nouzové zastavení stroje. Volba a použití tlačítek E-STOP* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://1url.cz/Wzeot>
- [16] TITAN–MULTIPLAST s.r.o., E-SHOP MULTIPLAST: *POLYKARBONÁTOVÉ DESKY*. [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://1url.cz/KzeoW>
- [17] SMC Corporation, SMC Expertise-Passion-Automation, Digitální katalog: *Pneumatické pohony, válce dle normy ISO, C96KDF50-250C* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://1url.cz/QzN91>
- [18] MiniTec Framing Systems, LLC. MiniTec: *Hliníkové profily* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/AzQDt>
- [19] MiniTec Framing Systems, LLC. MiniTec: *Structural Aluminum Profiles* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/LzQDo>
- [20] MiniTec Framing Systems, LLC. MiniTec: *Profile Fasteners* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/czQD7>
- [21] MiniTec Framing Systems, LLC. MiniTec: *T-Slotted Structural Aluminum Profiles, Fasteners & Thousands Of Accessories* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/VzWpo>
- [22] SMC Corporation. SMC Expertise-Passion-Automation: *Produkty a podpora* [online]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora>
- [23] SMC Corporation, SMC Expertise-Passion-Automation, Digitální katalog: *VM100, řada 100, Mechanicky / ručně ovládaný 2/2 a 3/2 ventil* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://1url.cz/Uz2jJ>
- [24] TECHPORTAL: *Nelegovaná konstrukční jemnozrnná ocel ČSN 41 11523* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://1url.cz/Oz2EQ>

- [25] MiniTec Framing Systems, LLC. MiniTec: *Slim Counterweighted Door Using Chain Pulley 32* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://1url.cz/xz2jK>
- [26] HENGSTLER Komponenten.: *Pneumatischer Näherungsschalter* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://1url.cz/pz2n1>
- [27] SMC Corporation, SMC Expertise-Passion-Automation, Digitální katalog: *IL200, Uzavírací ventil* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://1url.cz/yz2ne>
- [28] SMC Corporation, SMC Expertise-Passion-Automation, Digitální katalog: *Pneumatické pohony, válce dle normy ISO, C96KDF50-250C-M9BM* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://1url.cz/7zEqC>
- [29] SMC Corporation, SMC Expertise-Passion-Automation, Digitální katalog: *SYJ700, Elektromagnetický nepřímý ovládaný 3/2 ventil, všechna provedení* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://1url.cz/AzE2x>
- [30] SMC Corporation, SMC Expertise-Passion-Automation, Digitální katalog: *VQC4000, Elektromagnetický nepřímý ovládaný 5/2 a 5/3 ventil, montáž na základovou desku, interní prodrátování* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://1url.cz/pzE2y>
- [31] SMC Corporation, SMC Expertise-Passion-Automation, Digitální katalog: *M9N/M9P/M9B, Elektronický snímač polohy, přímá montáž, vodiče (v ose)* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://1url.cz/KzEq4>
- [32] ProfiCAD: *PLC* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://1url.cz/FzEEM>
- [33] SIEMENS. Ingenuity for life: *6ED1052-1CC08-0BA0, LOGO! basic modules with display*. [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://1url.cz/mzEUO>
- [34] SIEMENS. Ingenuity for life: *LOGO! Soft Comfort Online-Help* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/852/109768852/att\\_990434/v1/Help-en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/852/109768852/att_990434/v1/Help-en-US.pdf)

## **Seznam příloh**

**PŘÍLOHA A** – Konstrukce jednoúčelového lepicího stroje

**PŘÍLOHA B** – Pneumatické schéma, varianta č. 1

**PŘÍLOHA C** – Part list, varianta č. 1

**PŘÍLOHA D** – Kusovník, varianta č. 1

**PŘÍLOHA E** – Pneumatické schéma, varianta č. 2

**PŘÍLOHA F** – Part list, varianta č. 2

**PŘÍLOHA G** – Kusovník, varianta č. 2

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D. a konzultantovi diplomové práce Ing. Janu Kocurovi za odbornou spolupráci, pozitivní přístup a cenné připomínky v průběhu psaní mé diplomové práce. Nesmírně si vážím vstřícnosti ohledně mnoha dotazů a okamžité odezvy při vzájemné komunikaci. Rád bych také poděkoval své rodině a blízkým přátelům za maximální podporu při psaní této práce.

Diplomová práce byla vypracována v rámci projektu: „Numerické modelování dynamických jevů v mechanice tekutin s podporou experimentálního výzkumu“, reg. č.: SP2019/123 Specifického výzkumu financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.